



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Manresa

ESTUDI DE L'AUTOSUFICIÈNCIA ENERGÈTICA DE CERCs

Alumne:

Carles Serra i Maldonado

Tutor:

José Juan de Felipe Blanch

Titulació:

Grau en enginyeria de recursos energètics i miners

Data de presentació: 11-10-2018

RESUM:

El treball de fi de grau consisteix en l'estudi de l'autosuficiència energètica del municipi de Cercs.

Veurem les necessitats energètiques del municipi, i a partir d'aquestes dissenyarem una central de biomassa que pugui subministrar l'energia necessària.

En el projecte s'explicarà que és la biomassa, quins tipus de biomassa existeixen i s'estudiarà la situació d'aquesta a Catalunya. També estaran inclosos els càlculs que serviran per dimensionar la central.

Finalment s'explicarà el funcionament de la central i de les parts més importants d'aquestes, també calcularem el cost i la viabilitat econòmica i calcularem les emissions de CO₂ de la central.

TITULACIÓ: GRAU EN RECURSOS ENERGETICS I MINERS

Cercs self-sufficiency study

AUTHOR: Carles Serra i Maldonado

TUTOR: José Juan de Felipe Blanch

The final project grade is the study of self-sufficiency energetic of Cercs.

We will see the energetic needs of Cercs, and we will desing a biomass plant that can supply the necessary energy.

The biomass will be explained in the priject, wich kind of biomass exist and we will study and we will explain de situations of biomass in Catalunya. We will also make the calculations to build the plant.

Finally we will explain how the plant works and the most important parts of it, we will calculate the econòmic cost a and viability, and the CO₂ emissions.

CERTIFICATION: DEGREE IN ENERGETIC AND MINERAL RESOURCES ENGINEERING

Índex

1. Introducció	5
2. Objectius	5
3. Cercs	6
3.1 Recursos naturals del municipi	6
3.2 Clima.....	7
3.3 Vegetació.....	7
4. Consum energètic del municipi.....	8
5. Biomassa	11
5.2 Conceptes generals:	11
5.2 Tipus de biomassa:	12
5.3 Procés de transformació de la biomassa	16
6. Producció d'energia elèctrica a Catalunya	20
6.1 La biomassa a Catalunya	20
6.2 Plantes de biomassa a Catalunya	23
6.3 El futur de la biomassa a Catalunya	24
7. Tràmits administratius	26
8. Dimensionament de la central	28
8.1 El cicle de Rankie	28
8.2 Càlcul dels punts de treball	29
8.3 Estudi energètic del cicle de Rankie	33
9. Ubicació geogràfica	36
10. Càlcul del magatzem	37
11. Funcionament de la planta.....	39
11.1 Fases en el procés de combustió	40
11.2 La turbina de vapor	44
11.3 El generador	48
12. Balanç de matèria.....	48
12.1 Càlcul de l'Aire primari	49
12.2 Càlcul de l'aire secundari	49
12.3 Productes de combustió	50
13. Cost econòmic	51
13.1 Cost del funcionament	52
13.2 Cost d'operació i manteniment.....	52
13.3 Sous bruts.....	53
13.4 Cost total i retorn de la inversió.....	53

14.	Conclusions	54
15.	Bibliografia	55

1. Introducció

En la societat en la qual vivim és inevitable buscar noves fonts d'energia, especialment si son renovables, degut als problemes mediambientals, com l'escalfament global, ja que a part de fer variar el clima, també afecten negativament en la salut de les persones, sobre tot en zones molt poblades. Per això la investigació i el desenvolupament de noves tecnologies per aprofitar altres energies no convencionals és molt necessari.

És aquí on entra en joc la biomassa com a font energètica per fer electricitat, especialment en zones rurals, com és el municipi de Cercs, on la biomassa no està gaire aprofitada. L'estudi d'aquest tipus d'energia també ajudaria a que el preu de l'electricitat s'estabilitzés.

Un altre motiu seria per tornar a donar vida a comarques com el berguedà, que s'han vist molt afectat per la crisi i muntar una central de biomassa donaria llocs de treball, més els que es crearien per explotar els nombrosos boscos que hi ha per la zona.

2. Objectius

L'objectiu és l'estudi de l'autosuficiència energètica del municipi de Cercs, per això mirarem la despesa energètica del municipi, per saber quanta energia s'hauria de produir perquè això fos possible. En aquest projecte ens centrarem en la biomassa, com a font energètica, ja que en el municipi de Cercs, gran part de la seva extensió és biomassa que actualment està desaproveitada. També aprofitaríem l'antiga central tèrmica on gran part de la infraestructura ja està construïda.

En el projecte definirem què és la biomassa, explicarem els diferents tipus, parlarem de la situació de la biomassa a Catalunya, dimensionarem la central i explicarem el funcionament d'una central d'aquest tipus. Per finalment saber si és possible l'autosuficiència energètica, i si és així saber durant quant temps és possible explotar només els boscos dels voltants.

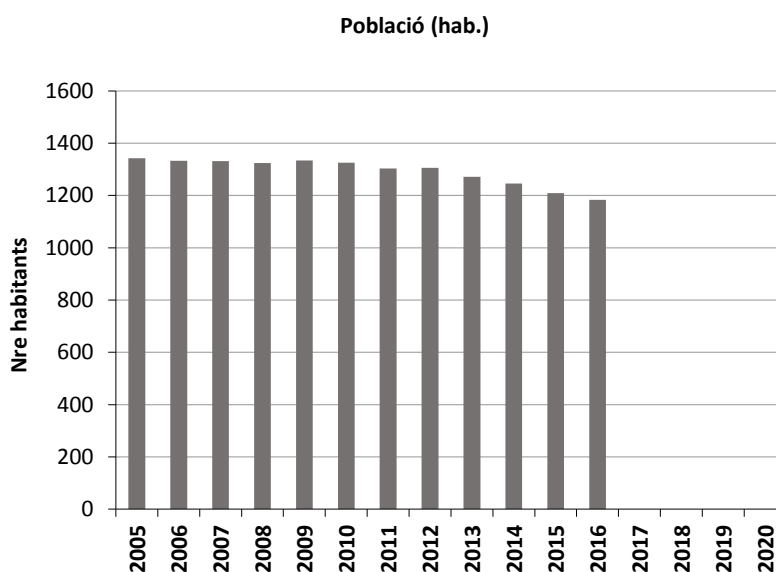
3. Cercs

Cercs és un municipi de la província de Barcelona, que pertany a la comarca del Berguedà. El municipi consta de cinc pobles: Cercs, Sant Jordi, La Rodonella, Sant Josep i Sant Corneli.

És un dels municipis més grans del Berguedà amb una extensió de 47,4 km². Té una població total d'uns 1.166 habitants, últim cens del 2017, i una densitat de població de 27,93 habitants/km².

Taula 1 Habitants del municipi

Població	Habitants (2017)
Cercs	268
Sant Jordi	655
La Rodonella	109
Sant Corneli	63
Sant Josep	11



Taula 2 Evolució demogràfica del municipi

Font: Pàgina web de l'ajuntament de Cercs

3.1 Recursos naturals del municipi

La xarxa fluvial de Cercs s'estructura al llarg del Pantà de la Baells, el riu Llobregat un cop unit amb el riu Bastareny, entra pel nord del municipi i desemboca al Pantà de la Baells, després del Pantà el Llobregat segueix fins a la seva desembocadura al delta del Llobregat. Els cursos d'aigua es caracteritzen per discorre d'oest a est pel territori, són principalment rieres, que neixen als espais naturals de la Serra d'Ensija i Rasos de Peguera i desemboquen al Pantà de la Baells. Tots són rius i rieres de muntanya calcària.

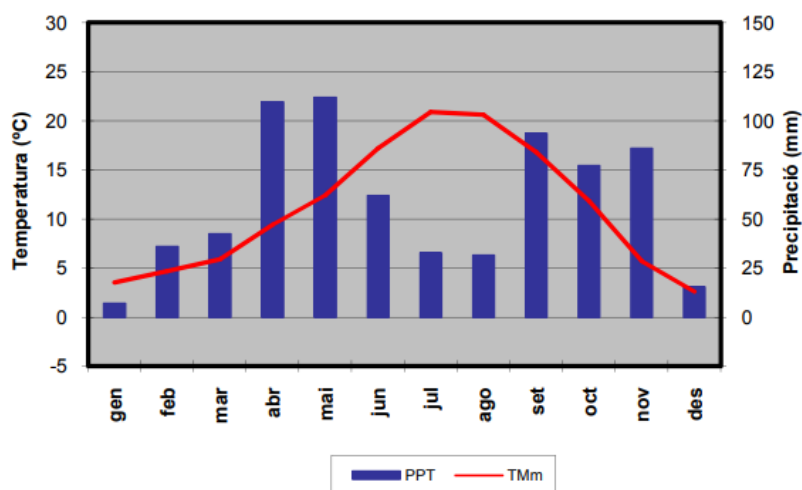
El pantà de la Baells va ser inaugurat l'any 1976, inundant l'antic poble de Sant Salvador de la Vedella. Té una capacitat de 109'5 hm³.

Els principals cursos fluvials són, de nord a sud, el torrent de Sant Romà, el Torrent del Carbonís, el riu Peguera i el torrent de les Garrigues, aquests dos darrers passen pel sud del nucli de Cercs i de Sant Jordi. Cal destacar que no trobem aqüífers protegits en la totalitat del territori municipal.

El municipi de Cercs engloba en el seu territori dues àrees hidrogràfiques, a nivell d'aigües subterrànies: l'àrea hidrogeològica del Pedraforca i l'àrea hidrogeològica de Solsona.

3.2 Clima

El relleu i l'alçada són els factors bàsics del clima de la comarca. Segons la divisió climàtica de Catalunya, el municipi correspon al subtipus mediterrani prepirinenc oriental. Aquest grup té uns valors mitjans de precipitació entre 750 i 850 mm, on les precipitacions es concentren en l'estiu i la primavera, i la tardor i l'hivern són més secs. La temperatura mitja anual varia molt depenent de la cota on s'analitzi, anant des dels 12 °C als 7 °C i l'amplitud tèrmica es mou entre els 16 i 19 °C.



Taula 3 Evolució de la temperatura i les precipitacions

Font: MeteoCat

3.3 Vegetació

El tipus de vegetació del municipi ve determinat, pel clima, el relleu i l'edafologia de la zona, i també per els usos de sòl del municipi. Com a conseqüència del relleu i del clima de la zona, la vegetació que podem trobar al municipi és la corresponent als estatges montà i subalpí majoritàriament.

1. L'Estatge Montà el formen, a nivell arbori i en condicions normals, predominantment el pi roig en el vessant humit dels Pirineus orientals, aquest estatge es troba entre els 700 a 1600 metres sobre el nivell del mar.
2. L'estatge subalpí és una zona de vegetació que es troba entre 1600 i 2300 metres aproximadament i, es caracteritza per la presència de boscos naturals de coníferes,

semblants als boscos subàrtics presents al nord d'Europa, de la Sibèria i d'Amèrica. La vegetació predominant d'aquest estatge està formada majoritàriament, per pinedes de pi negre i boscos d'avets.

Pel que la biomassa forestal que obtindrem d'aquesta zona seran branques, llenyes, serradures, encenalls i escorces de coníferes pinàcies.

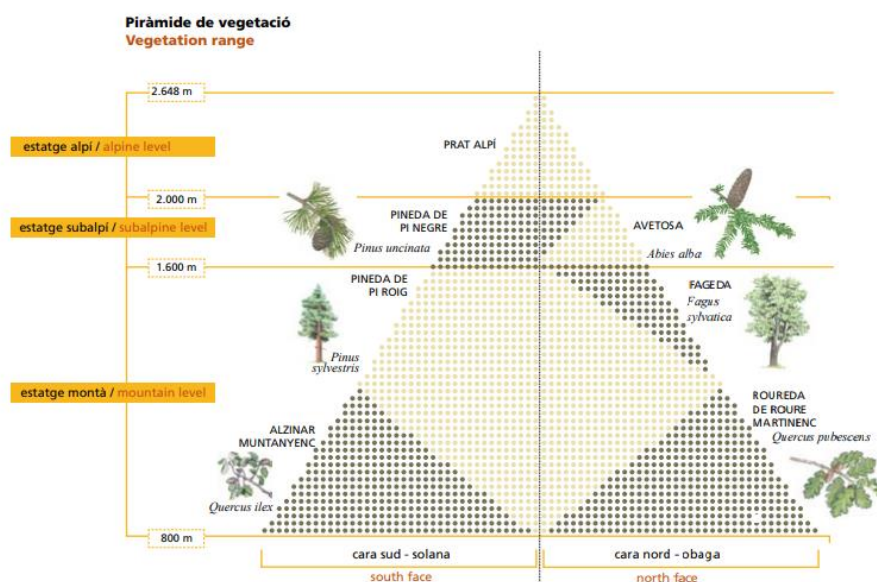


Figura 1 Piràmide de vegetació del Berguedà

Font: FAUNACAT

4. Consum energètic del municipi

En aquest apartat parlaré de la despesa energètica del municipi, de la quantitat d'energia que ja es produeix, de les emissions de CO₂ que hi ha actualment, i a partir d'aquestes dades sabrem l'energia que s'haurà de produir perquè el municipi pugui ser autosuficient energèticament.

- Consum energètic del municipi de Cercs

kWh	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Electricitat	6.061.048	5.870.680	5.963.023	5.546.963	5.388.428	5.148.098	4.941.839	5.072.702	4.819.678	4.463.801	0
Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustibles líquids	15.900.870	15.253.650	16.192.528	15.563.378	14.767.112	14.770.605	13.789.425	15.086.350	13.330.788	13.693.021	14.223.955
GLP	2.572.126	2.097.254	2.007.951	1.932.649	1.842.400	1.901.248	1.643.092	1.614.989	1.442.806	1.273.332	1.253.819
Xarxa calor/fred	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomassa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar tèrmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geotèrmia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	24.534.043	23.221.583	24.163.501	23.042.991	21.997.940	21.819.952	20.374.355	21.774.041	19.593.272	19.430.154	15.477.775

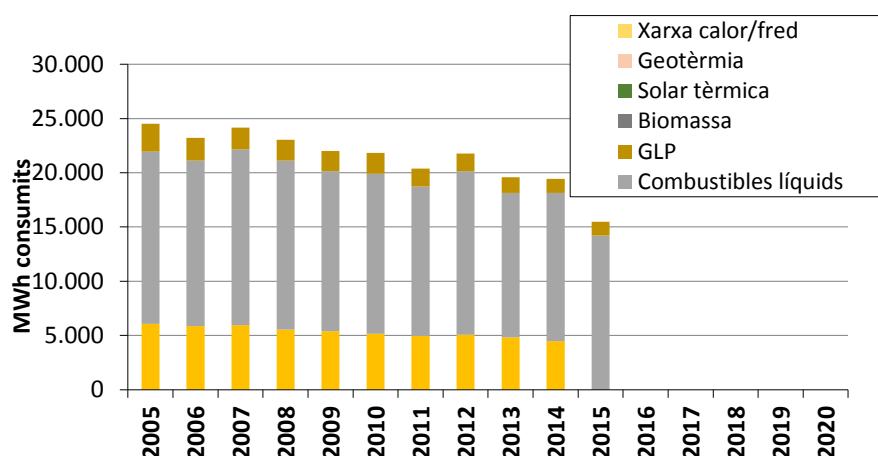
Taula 4 Evolució del consum energètic

Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs

Com es pot apreciar en aquesta taula el consum energètic ha anat decaient amb el pas dels anys degut a la despoblació que ha patit el municipi els últims anys, sobretot degut a la crisi

econòmica que a patit el país, que ha resultat en una pèrdua gran de llocs de feina, fent que la gent emigri a poblacions on la situació de la indústria és millor que la del Berguedà.

En el següent gràfic es veurà amb més precisió les dades de la taula anterior.



Taula 5 Evolució del consum energètic

Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs

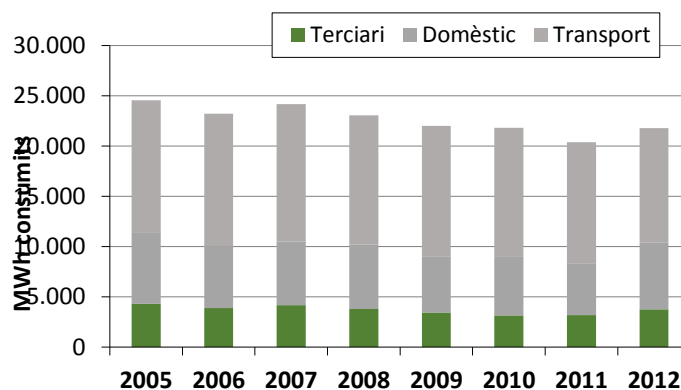
La següent taula mostra el consum energètic per sectors.

kWh	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Terciari	4.280.251	3.883.443	4.160.166	3.782.144	3.428.274	3.143.338	3.171.105	3.759.594	3.363.239	2.983.641	749.786
Domèstic	7.161.271	6.121.357	6.337.465	6.407.741	5.531.337	5.905.044	5.115.248	6.605.169	5.538.280	4.530.307	2.350.504
Transport	13.092.521	13.216.783	13.665.871	12.853.106	13.038.329	12.771.570	12.088.002	11.409.278	10.691.753	11.916.206	12.377.484
Total	24.534.043	23.221.583	24.163.501	23.042.991	21.997.940	21.819.952	20.374.355	21.774.041	19.593.272	19.430.154	15.477.775

Taula 6 Evolució del consum energètic per sectors

Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs

El pròxim gràfic exemplifica les dades anteriorment citades per tenir una explicació més gràfica i clara.



Taula 7 Evolució del consum energètic per sectors

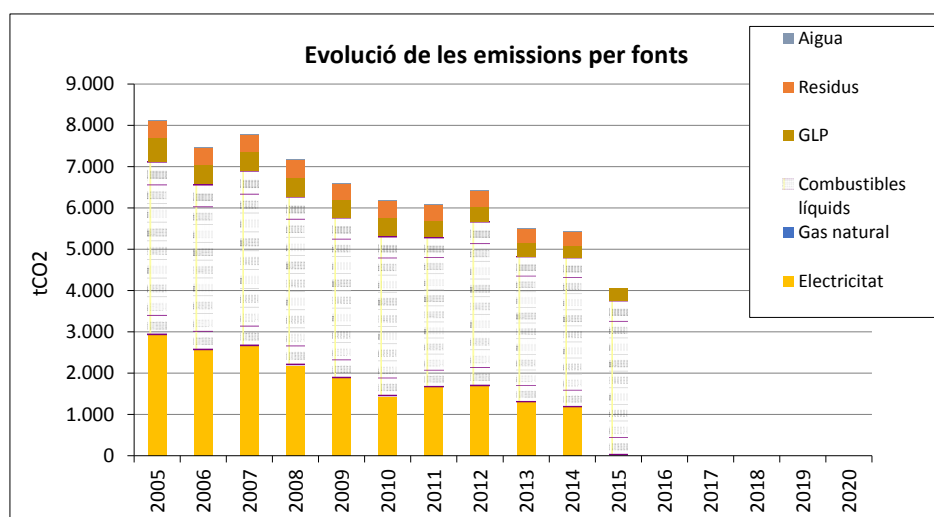
Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs

Les següents figures mostren l'evolució de les emissions de CO₂ per font, i com podem apreciar amb el temps ha anat patint una lleugera caiguda, tot i que és correlaciona amb les dades de la pèrdua d'habitants, podem veure com del 2014 al 2015 hi ha hagut un descens molt important, que pot ser degut a l'inici de producció energètica del municipi, on l'energia solar fotovoltaica hi deu tenir molt a veure.

tCO ₂	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Electricitat	2.915	2.548	2.642	2.174	1.870	1.426	1.656	1.674	1.290	1.177	0
Gas natural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combustibles líquids	4.196	4.021	4.254	4.096	3.892	3.891	3.639	3.989	3.522	3.619	3.760
GLP	594	484	464	446	426	439	380	373	333	294	290
Xarxa calor/fred	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Residus	402	404	395	450	399	420	407	385	358	344	0
Aigua	16	15	15	13	13	10	11	12	4	4	0
Total	8.124	7.473	7.770	7.179	6.599	6.187	6.092	6.432	5.507	5.438	4.050

Taula 8 Evolució de les emissions de CO₂

Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs



Taula 9 Evolució de les emissions de CO₂

Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs

La següent taula mostra la producció energètica del municipi, que va començar l'any 2013, però actualment encara s'estan fent algunes instal·lacions més, sobre tot de plaques solars fotovoltaïques, per l'enllumenat públic, i que segurament en els pròxims anys aquestes quantitats aniran en augment. Les dades proporcionades a continuació son estimades a partir de la potència instal·lada, quan no hi ha dades directes de la producció.

kWh	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Cogeneració i grups electrògens	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eòlica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0	0	0	0	0	102.930	102.930	102.930
Hidràulica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEL sense emissions	0	0	0	0	0	0	0	0	102.930	102.930	102.930
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	102.930	102.930	102.930

Taula 10 Evolució de la producció elèctrica

Font: Informe de l'Ajuntament de Cercs

Tenint en compte totes aquestes dades, la producció energètica per l'autosuficiència energètica de Cercs serà la diferència entre el consum energètic i la producció energètica del municipi:

Per fer aquesta operació agafaré les dades de l'últim any del qual tinc accés, el 2015.

$$15.477.775 \text{ kWh} - 102.930 \text{ kWh} = \mathbf{15.374.845 \text{ kWh}}$$

Per poder decidir el dimensionament de la central que haurem de construir per abastir aquestes necessitats energètiques haurem de saber el consum mensual.

$$\frac{15.374.845 \text{ kWh}}{12 \text{ mesos}} = 1.281.237,08 \text{ kWh}$$

He decidit incloure les dades de les emissions de CO₂, ja que la producció d'energia per mitjà de la biomassa allibera grans quantitats de CO₂, i estaria bé poder fer una comparació, per saber la qualitat de l'aire.

5. Biomassa

5.2 Conceptes generals:

Es considera biomassa a un grup de productes energètics i matèria prima de tipus renovable que s'originen a partir de matèria orgànica formada per via biològica. Una altra definició és, la fracció biodegradable de productes de rebuig i residus procedents de l'agricultura, silvicultura i de les indústries relacionades, així com de la fracció biodegradable de residus industrials i municipals.

Queden fora d'aquest concepte els combustibles fòssils i la matèria orgànica derivada d'aquests, com els plàstics i la majoria dels productes sintètics, ja que, encara que aquells van tenir un origen biològic, la seva formació va tenir lloc fa molts anys. La biomassa és una energia renovable d'origen solar a través de la fotosíntesi dels vegetals.

La biomassa ha estat utilitzada per l'home des de sempre, però amb l'aparició dels combustibles fòssils, el seu us va decaure molt. En l'actualitat a causa de diversos factors, s'ha tornat a la biomassa com a font energètica.

Aquests factors son:

- L'alt preu del petroli, que sembla que encara hagi d'anar a més.
- L'augment de la producció agrícola.
- La necessitat de buscar altres usos a la producció agrícola.
- El canvi climàtic, que comporta l'intent de reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle, i això implica buscar altres fonts energètiques sostenibles i renovables.
- Utilitzar els coneixements científicotècnics per millorar el procés d'obtenció d'energia.
- Marc econòmic i social favorable desenvolupar plantes que utilitzen biomassa com a combustible, gràcies a les subvencions a la producció que reben les plantes de biomassa.
- Dificultat per desenvolupar un altre tipus de projectes, deixant a la biomassa com l'alternativa més raonable per rendibilitzar una inversió econòmica.

5.2 Tipus de biomassa:

La biomassa inclou un conjunt molt heterogeni de matèries orgàniques, tant pel seu origen com per la seva naturalesa. La classificació que fa l'institut per la Diversificació Energètica (IDEA), la classifica segons el seu origen, la divideix en biomassa natural, biomassa residual, excedents agrícoles i cultius energètics.

A continuació s'exposaran les característiques de cada tipus de biomassa:

- Biomassa natural:

És la que es produeix en ecosistemes naturals. L'explotació intensiva no és compatible amb la protecció del medi ambient, encara que és una de les principals fonts energètiques en els països del tercer món.

La biomassa natural es produeix sense la intervenció de l'home, ni per modificar-la ni per potenciar-la. Majoritàriament son residus forestals:

- Derivats de la neteja de boscos i restes de plantacions.
- Troncs i branques.
- Coníferes.
- Frondoses.



Figura 2 Biomassa natural

Font: Cercador d'imatges de Google

- Biomassa residual:

La que és generada en les activitats humanes on s'utilitza matèria orgànica. La seva eliminació genera, en molts casos, un problema. Aquest tipus de biomassa té unes avantatges:

- Redueix la contaminació i el risc d'incendis.
- Els costos de producció i transport solen ser baixos.
- Evita emissions de CO₂.
- Genera llocs de treball.
- Ajuda al desenvolupament rural.

La biomassa residual es divideix en unes subcategories que s'expliquen a continuació.

1) Residus agrícoles.

Corresponen a les restes produïdes per cultius herbàcies i llenyoses. Aquests tipus de residus es generen en dates molt concretes degut a que la producció d'aquests cultius depenen de l'època de l'any, és a dir, son estacionals.

Com a punts a favor, destaquen per la seva fàcil obtenció, l'accessibilitat i la seva obligada gestió com a residu. En contra, la seva producció discontinua.



Figura 3 Biomassa residual agrícola

Font: Cercador d'imatges de Google

2) Residus forestals.

Son generats en explotacions forestals, tales o en tractament preventius, com pot ser, podar els arbres, o fer una aclarida.

Els residus forestals es poden gestionar més fàcilment al venir d'una activitat industrial. Aquests residus forestals han de ser retirats dels boscos, ja que generen un risc potencial d'incendi i propagació de plagues.



Figura 4 Biomassa residual forestal

Font: Cercador d'imatges de Google

3) Residus d'indústries agrícoles i agroalimentàries.

Aquest tipus de residu té la característica de ser molt contaminant, ja que comporta una dificultat en la seva eliminació.

Com a punt a destacar, la gran quantitat que se'n genera, les indústries que més en fan son:

- Arròs
- Fruits secs
- Conserves vegetals
- Bodegues i destil·leries



Figura 5 Biomassa residual d'indústries agrícoles i agroalimentàries

Font: Cercador d'imatges de Google

4) Residus d'indústries forestals.

Les activitats de la indústria de la fusta generen residus que poden utilitzar-se com combustible o com matèria primera en altres indústries. Les que generen més residus son:

- Serradores, aquestes indústries generen serradures o retalls de l'escorça que es poden utilitzar com combustible.
- Fabricació de productes elaborats, com poden ser els mobles, les fusteries o la indústria relacionada amb la construcció. Els residus més usuals son serradures, retalls i pols.
- Fabricació de productes de suro.
- Fabricació de pasta de paper.



Figura 6 Biomassa residual d'indústries forestals

Font: Cercador d'imatges de Google

5) Residus ramaders.

Son els produïts per explotacions ramaderes:

- Fems
- Residus líquids, com els purins dels porcs.
- Residus provinents de les gallines.

Aquests tipus de residus, normalment utilitzats com abonament, son un gran problema mediambiental, ja que actualment l'agricultura i la ramaderia ja no estan vinculats. Ara els ramaders ja no son agricultors, per tant els fems que genera el bestiar no és utilitzat com abonament, i no pot ser absorbit per els terrenys contigus.

Per això se'ls hi pot donar un us energètic, per produir combustibles sòlids o per produir biogàs.



Figura 7 Biomassa de residus ramaders

Font: Cercador d'imatges de Google

- Excedents agrícoles.

Els excedents agrícoles que no son utilitzats en l'alimentació humana poden ser considerats com biomassa. Aquest us de productes de la cadena alimentària ha provocat una mala fama injustificada del seu us com biocombustible, ja que s'ha acusat de ser el culpable de l'augment del preu de productes alimentaris de primera necessitat.

Aquests excedents poden ser utilitzats tant com combustible en plantes de generació elèctrica com transformats en biocombustibles.

- Cultius energètics.

Els cultius energètics són cultius específics dedicats exclusivament a la producció d'energia. A diferència dels agrícoles tradicionals, la seva característica principal és la gran productivitat de biomassa. Son cultius resistent a les sequeres, a les malalties, tenen capacitat de rebrot i adaptació a terrenys marginals.

Entre els cultius energètics es poden incloure cultius tradicionals com cereals, canya de sucre o les llavors oleaginoses; i d'altres no convencionals com la Cynara, la petaca, o el sorgo dolç; que estan sent objecte de nombrosos estudis per determinar les seves necessitats de cultiu.



Figura 8 Biomassa de cultius energètics

Font: Cercador d'imatges de Google

5.3 Procés de transformació de la biomassa

La gran varietat de materials diferents que es poden incloure dins el concepte biomassa permet plantejar una gran quantitat de possibles processos de transformació d'aquesta biomassa en energia.

Aplicant els diferents processos de conversió, la biomassa pot transformar-se en les diferents formes d'energia següent:

- Calor i vapor: es genera la calor i el vapor mitjançant la combustió de biomassa o biogàs. La calor pot ser el producte principal per aplicacions en calefacció, o pot ser un subproducte en la generació d'electricitat en plantes que generen electricitat i vapor.
- Combustible gasós: el biogàs produït en processos de digestió anaeròbica o gasificació pot ser usat en motors de combustió per generar electricitat, per calefacció i

condicionament en el sector domèstic, comercial i institucional, i en vehicles modificats.

- Biocombustibles: la producció de biocombustibles com l'etanol i el biodièsel té el potencial per reemplaçar quantitats significatives de combustibles fòssils en moltes aplicacions de transport. L'ús de l'etanol al Brasil ha demostrat, durant més de 20 anys, que els biocombustibles són factibles a gran escala. Als Estats Units i Europa la seva producció està incrementant-se i s'estan comercialitzant barrejats amb derivats del petroli. Per exemple, la barreja anomenada E20, constituïda el 20% d'etanol i 80% de petroli, resulta aplicable en la majoria de motors de combustió. Aquest tipus de combustible rep algun tipus de subvenció estatal en l'actualitat, però, en el futur, si augmenta el nombre de cultius energètics, la reducció de costos pot fer competitiva la seva producció.
- Electricitat: l'electricitat generada a partir de la biomassa pot ser comercialitzada com a "energia verda", ja que no contribueix a l'efecte hivernacle per estar lliure d'emissions de CO₂. Aquest tipus d'energia pot oferir noves opcions al mercat, ja que la seva estructura de costos permetrà als usuaris suportar majors nivells d'inversió en tecnologies eficients, la qual cosa incrementarà la indústria bioenergètica.
- Co-generació: es refereix a la producció simultània de vapor i electricitat, que es pot aplicar a molts processos industrials que necessiten les dues formes d'energia.

Els processos que es poden seguir per realitzar aquesta transformació es poden separar en físics, termoquímics, i biològics.

- Processos físics.

Consisteixen en l'alteració de les característiques físiques del material, sobre tot de la seva granulometria i la densitat. S'utilitzen per a preparar la biomassa per la següent fase. Els tres processos utilitzats son:

- Estellat: és el procés de trencar la biomassa en trossos més petits, de fins a 5 centímetres de longitud.



Figura 9 Estelles de futa

Font: Cercador d'imatges de Google

- Mòlta: per fer aquest procés s'ha de seguir des de la fase anterior fins a convertir la biomassa en serradures o pols. Amb aquest procés la superfície de la biomassa augmenta, així ajudes a afavorir les reaccions posteriors a les que la biomassa pot estar sotmesa.



Figura 10 Fusta mòlta

Font: Cercador d'imatges de Google

- Densificació: és el procés de fer augmentar la densitat mitjançant la compactació. El producte final són els anomenats pèl·lets, que es poden utilitzar tant en aplicacions domèstiques com industrials.
El pèl·let és un excel·lent biocombustible sòlid molt utilitzat en l'actualitat en les calefaccions domèstiques i industrials.
En el mercat europeu el consum pèl·let està augmentant ràpidament, s'estima que es consumeixen unes 2'5 milions de tones a l'any.



Figura 11 Pèl·lets

Font: Cercador d'imatges de Google

- Processos termoquímics.

Es basen en la utilització de la calor per transformar la biomassa, son processos que estan ben adaptats a la biomassa seca, a la palla i a la fusta.

- Combustió:

És el procés més rentable per la utilització de la biomassa amb finalitats energètiques. La combustió és l'oxidació del hidrocarburs presents per l'oxigen de l'aire. Simplificant-ho, en aquesta reacció s'allibera CO_2 i aigua.

La combustió pot ser utilitzada tant per fer calor, i aprofitar-la directament, o per la transformació d'aquesta energia tèrmica i fer electricitat.

- Gasificació:

Consisteix en la utilització de gas combustible generat en una turbina de gas, on es recupera la calor dels gasos de sortida per produir vapor i moure una turbina, és un cicle combinat de gas i vapor.

El rendiment d'aquesta tecnologia pot duplicar el rendiment obtingut per combustió directa.



Figura 12 Maquinària per fer la gasificació

Font: Cercador d'imatges de Google

- Piròlisi:

És la combustió incompleta de la biomassa en absència d'oxigen, a uns 500 °C. S'utilitza normalment per la producció de carbó vegetal. La piròlisi porta a l'alliberació d'un gas pobre, que és una barreja de CO i CO_2 , H_2 i hidrocarburs lleugers. Aquest gas, de baix poder calorífic, pot ser utilitzat per accionar motors dièsel, o per fer electricitat.

- Processos biològics.

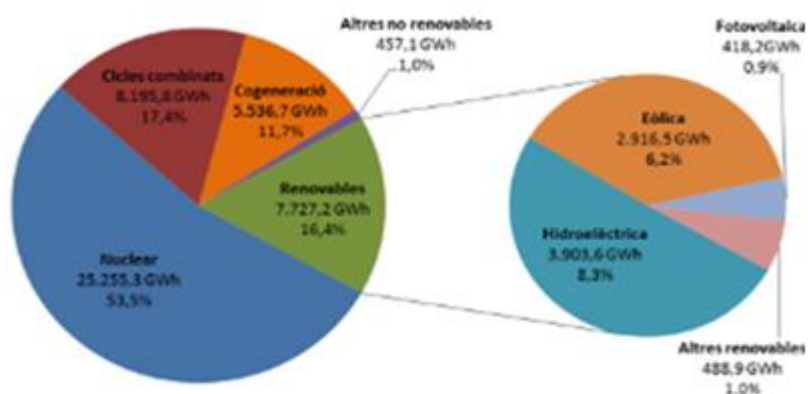
Els processos biològics als quals pot estar sotmesa la biomassa es basen en el creixement de microorganismes que degraden la matèria orgànica donant productes amb interès energètic. S'utilitzen en la biomassa amb alt contingut d'humitat, sent els més comuns la fermentació alcohòlica per produir etanol i la digestió anaeròbica, per produir metà.

6. Producció d'energia elèctrica a Catalunya

La producció bruta d'energia elèctrica a Catalunya l'any 2017 ha estat de 47.172'1 GWh.

En aquest any, l'energia nuclear ha estat la principal font energètica per a la producció d'electricitat a Catalunya, ha representat un 53'5% del total. Destacarem la producció d'energia elèctrica mitjançant els cicles combinats i la cogeneració, que han representat el 17'4% i el 11'7%, respectivament, del total. En conjunt, la producció d'energia elèctrica de fonts energètiques no renovables ha estat del 83'6%.

En l'àmbit de les renovables, l'energia hidroelèctrica i l'energia eòlica han estat les principals fonts energètiques renovables per a la producció d'electricitat, representant un 8'3% i 6'2%, respectivament. En conjunt, la producció d'energia elèctrica amb fonts energètiques renovables a Catalunya ha estat del 16'4% l'any 2017.

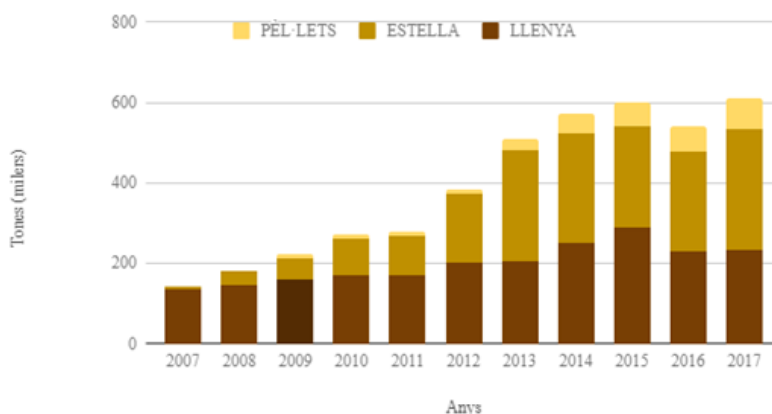


Taula 10 Estructura de la producció bruta d'electricitat a Catalunya

Font: Institut Català de l'energia

6.1 La biomassa a Catalunya

Des de l'any 2007 la producció de biomassa ha augmentat any rere any, fins a l'actualitat demostrant la fortalesa d'aquesta font d'energia, i la seva projecció de futur. Alguns anys com el 2012 i 2013 hi ha hagut increments molt importants on la producció ha augmentat més d'un 30% interanual com es pot veure en el següent gràfic.



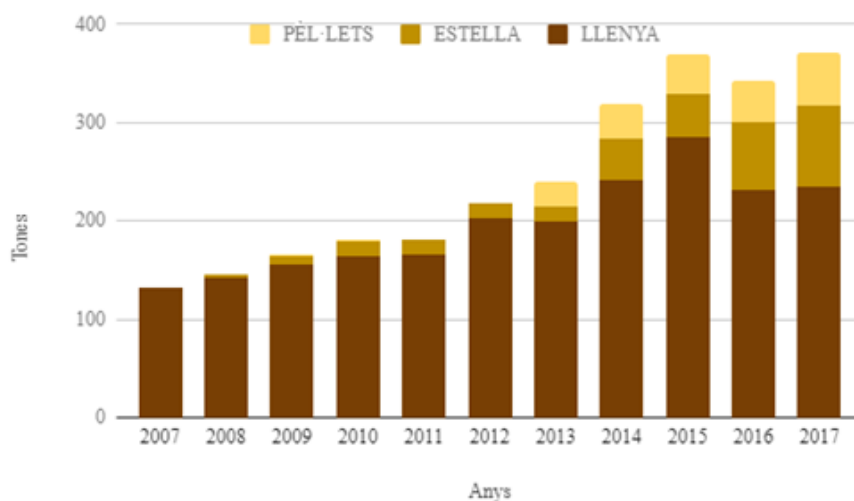
Taula 11 Producció de biomassa a Catalunya

Font: Estratègia per promoure l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i agrícola

La llenya és la forma de biomassa més comercialitzada i per tant la que més s'ha produït des que es tenen dades fins al 2013, en aquest any l'estella passa a ser la forma de biomassa més produïda amb un total de 276.319 tones en front a les 205.500 tones de llenya, i des del 2013 es mantenen en valors similars. L'any 2017 s'han produït unes 299.700 tones d'estella, 235.000 tones de llenya i 77.700 tones de pèl·lets.

El consum de biomassa a Catalunya ha mantingut un ritme de creixement similar al de la producció, això demostra que l'augment de l'oferta ha estat acompanyat per un augment de la demanda. Al 2017 s'ha consumit més biomassa forestal per a usos tèrmics que al 2016, un 10'1 %, malgrat que per sota de la línia dels objectius que l'estratègia té marcats per l'any 2020.

A partir de l'any 2012 i 2013 hi ha un increment en el consum d'estella, que s'explica per l'entrada en funcionament de centrals de producció elèctrica. Aquest increment s'ha vist acompanyat per l'augment més progressiu de la demanda d'estella per a ús tèrmic. Com es pot veure en el gràfic següent, tot i que el consum de llenya és el predominant, l'any 2017 la llenya representa un 63% del consum total i l'estella ha augmentat fins a un 23% del total.

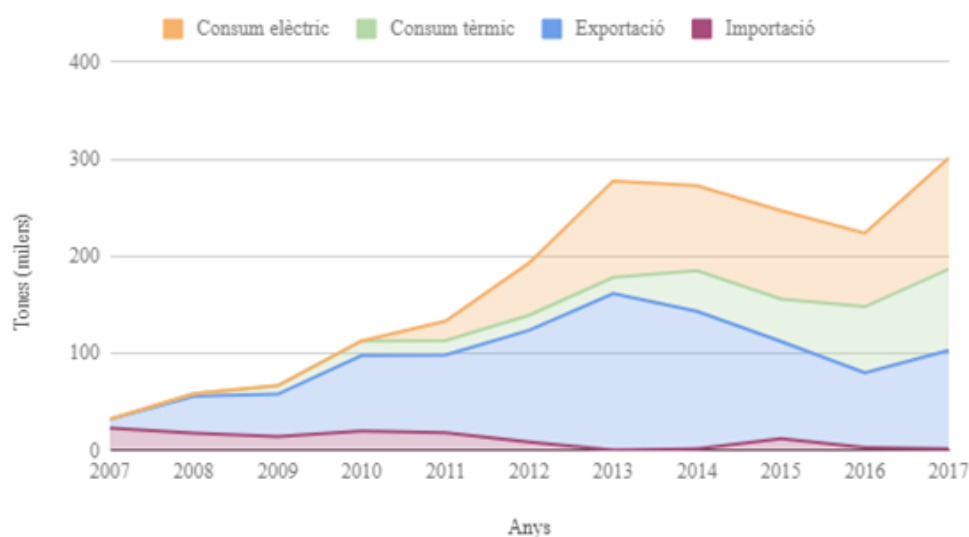


Taula 12 Consum tèrmic de biomassa a Catalunya

Font: Estratègia per promoure l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i agrícola

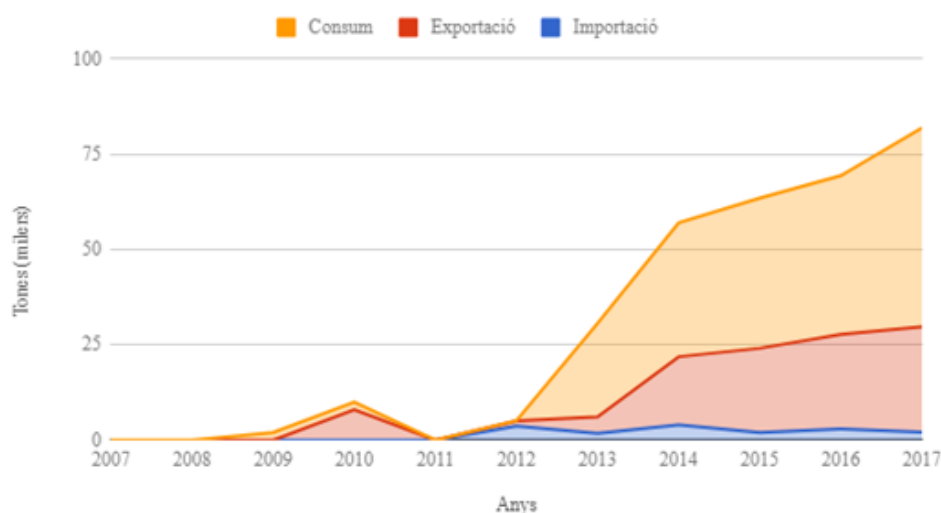
Es confirma la tendència d'un significatiu increment del consum de pèl·let, un 26%, i d'estella un 23%, aquest increment es considera un fet positiu ja que l'estella i el pèl·let són productes elaborats que s'utilitzen en tecnologies eficients, per als quals existeixen certificacions voluntàries de qualitat.

Entre els diferents biocombustibles sòlids, l'estella i el pèl·let han sofert uns canvis substancials a partir del 2011/2012, moment en el qual s'incrementa considerablement els volums d'aquests productes en el mercat.



Taula 13 Flux d'estella a Catalunya

Font: Estratègia per promoure l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i agrícola



Taula 14 Flux de pèl·let a Catalunya

Font: Estratègia per promoure l'aprofitament energètic de la biomassa forestal i agrícola

A l'any 2007 les importacions d'estella forestal eren predominants per sobre les exportacions, però aquesta tendència va canviar a l'any 2008, any en que l'exportació comença a augmentar fins avui dia. Les centrals de elèctriques són una part molt important del consum però encara al 2014 s'exporta més estella a altres països com França i Itàlia per a la producció de pasta de paper i electricitat. El consum tèrmic de biomassa té un creixement més progressiu i sembla que pugui tenir un futur sostenible per a aquesta nova font d'energia, ja que el nombre d'instal·lacions tèrmiques no ha deixat de créixer ni en els moments més durs de la crisi econòmica. S'ha de considerar que les dades són en molts casos estimacions a partir del que diuen els productors, clients i consumidors, a més de la informació provinent de duanes per l'exportació i importació.

6.2 Plantes de biomassa a Catalunya

Les dades que es presenten a continuació són el resultat de la col·laboració de diferents empreses i entitats. Els totals obtinguts no són coincidents atès que no es disposa de la mateixa informació de cada instal·lació informada. Les ubicacions en el mapa ofereixen una representació correcta de la densitat d'instal·lacions de biomassa al territori. No s'inclouen les estufes ni les llars de foc.

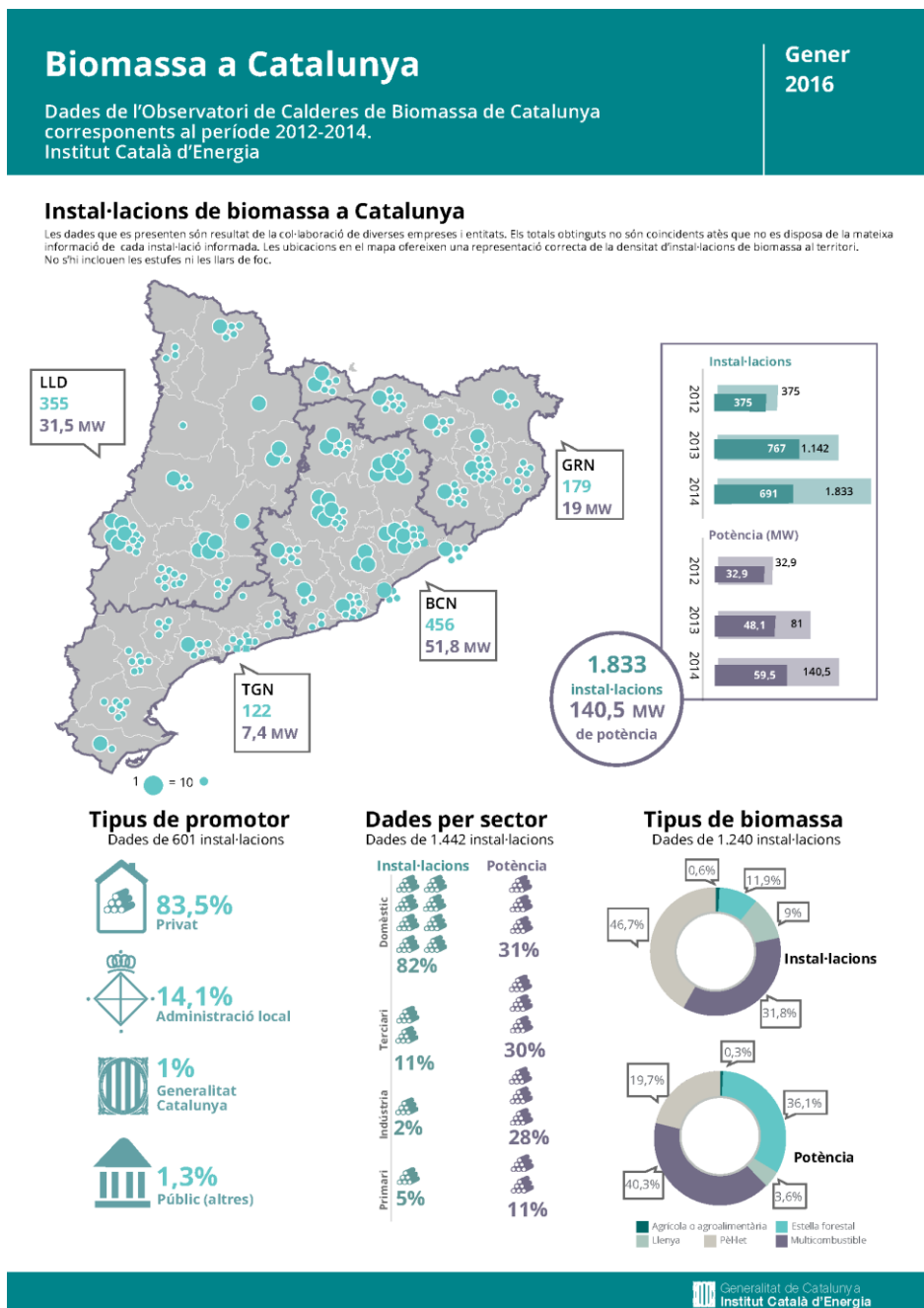


Figura 13 Instal·lacions de biomassa a Catalunya

Font: Institut Català d'Energia

6.3 El futur de la biomassa a Catalunya

La Generalitat ha començat un pla perquè el consum de biomassa forestal i agrícola augmenti a Catalunya. El seu objectiu és fomentar l'ús energètic de la biomassa de proximitat mitjançant una acció conjunta de Govern, així com coordinar les actuacions relacionades.

Segons aquest pla els beneficis del consum de biomassa son:

- Beneficis energètics:

Reduir l'alta dependència energètica exterior, ja que és un combustible autòcton.

Combustible amb preus competitius, renovable i amb un elevat potencial de futur.

Contribució als objectius fixats d'utilització d'energies renovables .

- Beneficis forestals:

Fomenta la prevenció d'incendis i millora l'estat dels boscos, al posar en valor un producte que possibilita la gestió sostenible del bosc.

Afavoreix l'adaptació dels ecosistemes, per tal que aquests tinguin més capacitat d'adaptació als efectes del canvi climàtic i amb estructures que beneficien la disponibilitat d'aigua.

Contribueix a la recuperació econòmica del sector forestal i a la dinamització de les zones rurals.

- Beneficis mediambientals:

Important contribució a la consecució dels objectius de mitigació del canvi climàtic i de la qualitat de l'aire.

Evitarà l'emissió de 270.000 tones de CO₂ a l'atmosfera l'any 2020 respecte el 2012.

Reduirà l'emissió de gasos de sofre, que causen la pluja àcida.

- Beneficis socials i econòmics:

Elevat potencial de creació de riquesa a Catalunya, especialment en l'àmbit rural.

Potencial de desenvolupament en el sector industrial, aplicacions a polígons, pel seu ús en aconseguir altes temperatures i produir vapor. Base per desenvolupar tecnologies pròpies quan es consolidi el consum.

Sinergies amb activitats fronteres, com la bioeconomia, l'economia circular i el tractament de residus.

Facilitat de la interlocució entre els agents del sector i l'administració.

La biomassa és una font energètica imprescindible per complir les demandes energètiques imposades per la UE.

Objectius energètics i climàtics UE i Catalunya	Situació 2017	2020	2030	2050
Consum d'Energies Renovables (%)	8	20	32	100 ⁽¹⁾
Consum d'Energies Renovables en el mix elèctric (%)	16,4	-	50 ⁽²⁾	100
Increment de l'eficiència energètica (%)		20	32,5	-
Reducció emissions GEH (%)		20	40	80-85

Taula 15 Objectius energètics i climàtics UE i Catalunya

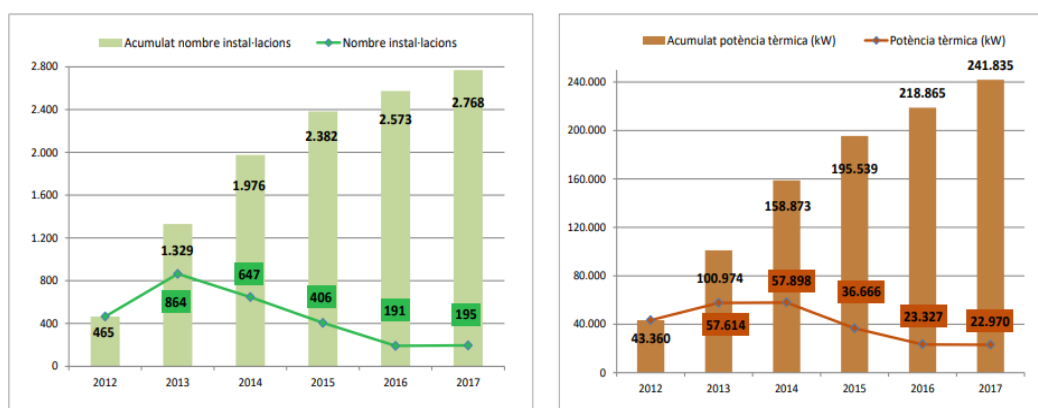
Font: Institut Català d'Energia

Indicador	2013	2014	2015	2016	2017	Δ anual 2017	Objectiu 2020
Consum de biomassa forestal per a usos tèrmics (ktones/any)	240	319,4	369,3	341,9	370,4	8,3%	600
Consum de biomassa forestal per a usos tèrmics (ktep/any)	62,4	84,3	97,1	91,8	101,1	10,1%	172,8
Reducció d'emissió GEH (tones/any CO2) respecte el 2013	-	53.451	84.600	71.865	94.630	-	270.000
Superfície forestal gestionada (ha/any)	10.000	13.000	15.189	14.200	15.450	8,8%	25.000

Taula 16 Evolució i objectiu del consum de biomassa

Font: Institut Català d'Energia

S'està aconseguint una evolució positiva cap als objectius fixats, l'estratègia està suposant una empenta per al sector. En el 2017 s'ha consumit significativament més biomassa forestal per a usos tèrmics que al 2016, un 10'1 %, tot i que aquests bons resultats estan per sota de la línia dels objectius que es marquen per al 2020.



Taula 17 Nombre d'instal·lacions i Potència tèrmica acumulada

Font: Institut Català d'Energia

En el període 2012 - 2017 s'han executat a Catalunya 2.768 instal·lacions, amb una potència tèrmica total de 241,8 MW.

7. Tràmits administratius

- Autorització d'instal·lacions

La posada en funcionament, modificació, transmissió i tancament definitiu de les instal·lacions de producció, transport, distribució i línies directes d'energia elèctrica, així com el tancament temporal de les instal·lacions de producció estaran sotmeses, amb caràcter previ, al règim d'autoritzacions establert en l'article 53 de la Llei 24/2013, de 26 de desembre, del sector elèctric i les seves disposicions de desenvolupament.

Correspon a l'Administració General de l'Estat autoritzar les instal·lacions elèctriques de generació de potència elèctrica instal·lada superior a 50 MW elèctrics i les ubicades al mar territorial, les de producció, transport secundari i distribució que excedeixin de l'àmbit territorial d'una comunitat autònoma, i totes les instal·lacions de transport primari, llevat de les especificitats establertes per als territoris insulars i extrapeninsulars.

En l'actualitat, està pendent el desenvolupament reglamentari del que estableix l'article 53 de la Llei del sector elèctric. Resulta, per tant aplicable el que disposa el títol VII del Reial Decret 1955/2000, d'1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica.

L'article 113 del Reial Decret 1955/2000, d'1 de desembre, estableix que les competències sobre l'autorització d'instal·lacions titularitat de l'Administració General de l'Estat han de ser exercides per la Direcció General de Política Energètica i Mines, sense perjudici de les expressament atribuïdes al Consell de Ministres. Així mateix la seva tramitació serà duta a terme per les àrees o, si s'escau, per les dependències d'Indústria i Energia de les delegacions o subdelegacions del Govern de les províncies on es dugui a terme la instal·lació.

L'article 115 del Reial Decret 1955/2000, d'1 de desembre, estableix que la construcció de les instal·lacions elèctriques requereix les següents resolucions administratives:

- 1) Autorització administrativa: es refereix a l'avantprojecte de la instal·lació i es tramitarà, si s'escau, conjuntament amb l'estudi d'impacte ambiental. Habilita al peticionari a iniciar les obres preparatòries de condicionament de l'emplaçament de les instal·lacions (cota zero), segons el que disposa l'article 131.9 de l'esmentat Reial Decret.
- 2) Aprovació del projecte d'execució: es refereix al projecte concret de la instal·lació i permet al seu titular la construcció o establiment de la mateixa.
- 3) Autorització d'explotació: permet, un cop executat el projecte, posar en tensió les instal·lacions i procedir a la seva explotació comercial.

Així mateix, en aquells casos en què sigui necessària l'expropiació forçosa dels béns i drets necessaris per a l'establiment de la instal·lació o la imposició de servitud de pas, s'haurà de tramitar la corresponent Declaració d'utilitat pública.

- Tràmits mediambientals

Les instal·lacions d'energia elèctrica se sotmetran a una avaluació d'impacte ambiental quan així ho exigeixi la legislació aplicable. El Ministeri d'Agricultura, Pesca, Alimentació i Medi Ambient serà l'òrgan ambiental competent en aquesta matèria.

D'altra banda, les instal·lacions de combustió amb una potència tèrmica de combustió superior a 50 MW incloses en l'annex 1 de la Llei 16/2002, d'1 de juliol, han de disposar, amb caràcter previ a l'Autorització Administrativa, amb l'Autorització Ambiental Integrada emesa per l'òrgan competent de la comunitat autònoma.

- Procediment

A continuació s'explica el procediment d'autorització de les instal·lacions competència de l'Administració General de l'Estat. Per a les altres instal·lacions, s'haurà de dirigir a l'òrgan competent de la comunitat autònoma en què s'ubiqui la mateixa.

S'exposa a continuació un resum dels tràmits a seguir per a l'obtenció de les diferents resolucions administratives regulades en el Reial Decret 1955/2000, de 1 de desembre, i en la normativa mediambiental d'aplicació.

- 1) Autorització administrativa

En aquells casos en què sigui necessària la Declaració d'impacte ambiental de la instal·lació, aquesta es tramitarà dins el procediment d'Autorització administrativa. S'ha considerat en aquest apartat que la Declaració d'impacte ambiental és preceptiva. En aquells casos en què no ho sigui, s'han d'ometre les tràmits relacionats amb la mateixa.

En virtut de l'article 124 del Reial Decret 1955/2000, de 1 de desembre, per a les instal·lacions de producció sol·licitant, abans de començar els tràmits d'informació pública, ha de presentar davant l'òrgan competent per atorgar l'autorització de la instal·lació una còpia del resguard d'haver presentat la garantia econòmica a què es fa referència en l'article 59 bis o 66 bis, segons correspongui, del Reial Decret 1955/2000, d'1 de desembre.

El peticionari presenta a l'Àrea o, si escau, Dependència d'Indústria i Energia de les delegacions o subdelegacions del Govern de les províncies afectades, la sol·licitud d'autorització administrativa, acompanyada de l'avantprojecte i de l'estudi d'impacte ambiental de la instal·lació.

L'òrgan provincial realitza els tràmits d'informació pública i sol·licitud d'informes preceptius. L'estudi d'impacte ambiental serà sotmès al tràmit d'informació pública conjuntament amb l'avantprojecte de la instal·lació.

Una vegada conclusos els tràmits anteriors, l'òrgan provincial remet l'expedient juntament amb el seu informe a la Direcció General de Política Energètica i Mines. La Direcció General de Política Energètica i Mines remet l'expedient al Ministeri Agricultura, Pesca, Alimentació i Medi Ambient a fi de que es formuli una Declaració d'impacte ambiental.

La Direcció General de Política Energètica i Mines resol sobre l'Autorització Administrativa, previ informe de la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència. La resolució és notificada al sol·licitant i publicada al Butlletí Oficial de l'Estat i en el Butlletí Oficial de les províncies respectives.

2) Aprovació del projecte d'execució

El titular de l'autorització presenta la sol·licitud davant l'Àrea o, si escau, Dependència d'Indústria i Energia de les delegacions o subdelegacions del Govern de les províncies afectades, acompanyada del projecte d'execució i les seccions d'aquelles parts del projecte que afecten altres administracions. L'òrgan provincial remet aquestes parts les administracions afectades a fi de que aquestes estableixin el condicionat tècnic procedent.

Una vegada conclusos els anteriors tràmits, es remet l'expedient juntament amb el seu informe a la Direcció General de Política Energètica i Mines.

La Direcció General de Política Energètica i Mines o, si escau, el Consell de Ministres, emet la resolució, la qual és notificada al peticionari.

3) Acta de posada en servei

Un cop executat el projecte, s'ha de presentar la corresponent sol·licitud d'acta de posada en servei juntament amb el certificat de final d'obra davant l'Àrea o, si escau, Dependència d'Indústria i Energia de les delegacions o subdelegacions del Govern respectives.

L'acta de posada en servei s'estendrà per l'òrgan provincial, amb les comprovacions tècniques que es considerin oportunes. Si es tracta d'una línia elèctrica que afecti diferents províncies, s'estendrà acta de posada en servei per cadascuna d'elles. Així mateix es pot estendre acta de posada en servei per a proves, a petició del titular de la instal·lació.

8. Dimensionament de la central

En aquest apartat veurem si amb la biomassa que podem extreure dels boscos de Cercs, el municipi pot ser autosuficient energèticament.

Abans de posar-nos a calcular les quantitats de fusta per alimentar una central termoelèctrica de 1'5MW de potència, s'ha de dissenyar el cicle Rankie, i dimensionar els components que treballaran en aquest cicle.

8.1 El cicle de Rankie

El cicle de Rankine és un cicle termodinàmic que té com a objectiu la conversió de calor en treball. En aquest cicle el fluid normalment utilitzat és el vapor d'aigua

Mitjançant la combustió d'un combustible, en el nostre cas biomassa, el vapor d'aigua és produït en una caldera a alta pressió per després ser portat a una turbina on s'expandeix per generar treball mecànic en el seu eix. El vapor de baixa pressió que surt de la turbina s'introdueix en un condensador, equip on el vapor condensa i canvia l'estat líquid. Posteriorment, una bomba s'encarrega d'augmentar la pressió del fluid en fase líquida per tornar a introduir-lo novament a la caldera, tancant d'aquesta manera el cicle.

El cicle de Rankie està format pels següents punts:

Economitzador (1'-1): Escalfa l'aigua sobre pressió, procedent de la bomba mitjançant els fums calents de combustió que es desprenen a la caldera.

Caldera (1-2): S'hi produeix la combustió de biomassa per vaporitzar l'aigua.

Turbina (2-3): A la turbina el vapor cedeix energia mecànica en provocar el gir del rodet i amb ell el del rodet de l'alternador.

Condensador (3-4): El vapor abandona la turbina i passa al condensador i es liqua cedint calor al medi ambient.

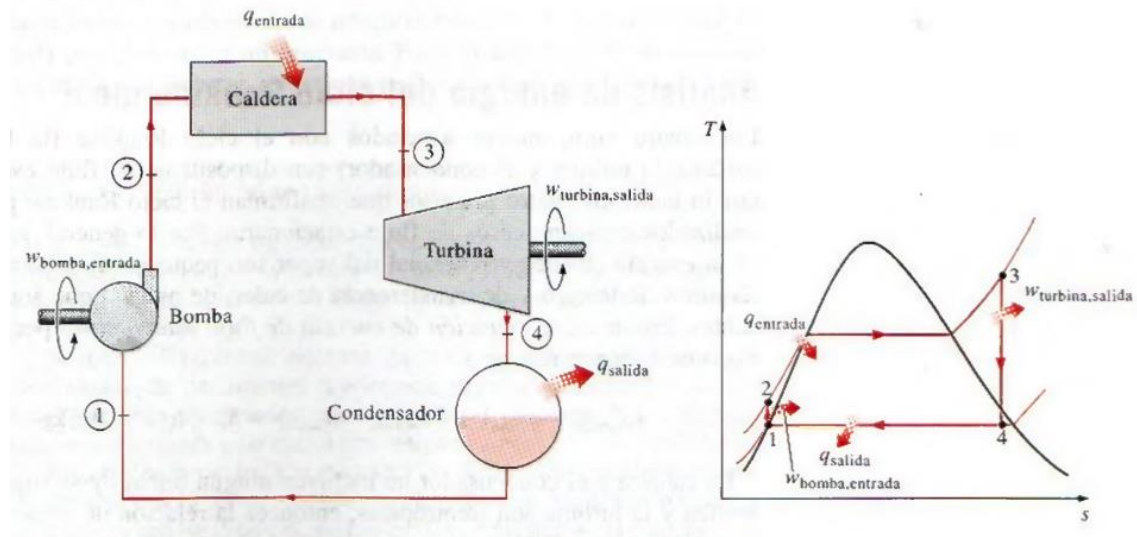


Figura 14 Cicle de Rankine

Font: Cercador d'imatges de Google

8.2 Càlcul dels punts de treball

La següent taula, extreta d'un llibre, dona valors representatius de pressió i temperatura en funció de la potència instal·lada.

Pressió (bar)	Temperatura °C	Instal·lacions fins a (KW)
27	400	200
36	415	500
45	460	5.000
62	482	10.000

Tabla 18 Estat del vapor a l'entrada de la turbina

Font: Centrales Termoelectricas de Biomasa (Renovetec)

La turbina seleccionada per a la nostra instal·lació de 1'5 MW de potència és el model "SST-060" de Siemens, que té una pressió i temperatura màxima de 131 bar i 530°C respectivament.

Amb les dades proporcionades per el fabricant de la turbina, juntament amb les taules següents, trobarem les entropies, entalpies i temperatures necessàries per el correcte funcionament de la planta de biomassa.

Les taules que utilitzarem per trobar la pressió, l'entalpia i l'entropia son, la taula de les propietats de l'aigua saturada (líquid-vapor), la taula de les propietats del vapor d'aigua sobreescalfada i la taula de les propietats de l'aigua comprimida.

Tables in SI Units 721

TABLE A-2 (Continued)

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
50	.1235	1.0121	12.032								
55	.1576	1.0146	9.568	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
60	.1994	1.0172	7.671	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
65	.2503	1.0199	6.197	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
70	.3119	1.0228	5.042	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
				292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045	300
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362	320
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357	340
360	186.5	1.8925	0.006945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526	360
374.14	220.9	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	374.14

Source: Tables A-2 through A-5 are extracted from J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969.

Taula 19 Taula de les propietats de l'aigua saturada (líquid-vapor)

Font: Dossier UPC

H₂O

TABLE A-4 (Continued)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$p = 40 \text{ bar} = 4.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 250.4^\circ\text{C}$)					$p = 60 \text{ bar} = 6.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 275.64^\circ\text{C}$)			
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892
280	0.05546	2680.0	2901.8	6.2568	0.03317	2605.2	2804.2	5.9252
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553	0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215	0.04331	2811.2	3071.1	6.3782
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408
440	0.07872	2992.2	3307.1	6.9041	0.05122	2970.0	3277.3	6.6853
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803
540	0.09145	3171.1	3536.9	7.2056	0.06015	3156.1	3517.0	6.9999
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677
640	0.1037	3351.8	3766.6	7.4720	0.06859	3341.0	3752.6	7.2731
700	0.1110	3462.1	3905.9	7.6198	0.07352	3453.1	3894.1	7.4234
740	0.1157	3536.6	3999.6	7.7141	0.07677	3528.3	3989.2	7.5190
$p = 80 \text{ bar} = 8.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 295.06^\circ\text{C}$)					$p = 100 \text{ bar} = 10.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 311.06^\circ\text{C}$)			
Sat.	0.02352	2569.8	2758.0	5.7432	0.01803	2544.4	2724.7	5.6141
320	0.02682	2662.7	2877.2	5.9489	0.01925	2588.8	2781.3	5.7103
360	0.03089	2772.7	3019.8	6.1819	0.02331	2729.1	2962.1	6.0060
400	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120
440	0.03742	2946.7	3246.1	6.5190	0.02911	2922.1	3213.2	6.3805
480	0.04034	3025.7	3348.4	6.6586	0.03160	3005.4	3321.4	6.5282
520	0.04313	3102.7	3447.7	6.7871	0.03394	3085.6	3425.1	6.6622
560	0.04582	3178.7	3545.3	6.9072	0.03619	3164.1	3526.0	6.7864
600	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206	0.03837	3241.7	3625.3	6.9029
640	0.05102	3330.1	3738.3	7.1283	0.04048	3318.9	3723.7	7.0131
700	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687
740	0.05729	3520.4	3978.7	7.3782	0.04560	3512.1	3968.1	7.2670
$p = 120 \text{ bar} = 12.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 324.75^\circ\text{C}$)					$p = 140 \text{ bar} = 14.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 336.75^\circ\text{C}$)			
Sat.	0.01426	2513.7	2684.9	5.4924	0.01149	2476.8	2637.6	5.3717
360	0.01811	2678.4	2895.7	5.8361	0.01422	2617.4	2816.5	5.6602
400	0.02108	2798.3	3051.3	6.0747	0.01722	2760.9	3001.9	5.9448
440	0.02355	2896.1	3178.7	6.2586	0.01954	2868.6	3142.2	6.1474
480	0.02576	2984.4	3293.5	6.4154	0.02157	2962.5	3264.5	6.3143
520	0.02781	3068.0	3401.8	6.5555	0.02343	3049.8	3377.8	6.4610
560	0.02977	3149.0	3506.2	6.6840	0.02517	3133.6	3486.0	6.5941
600	0.03164	3228.7	3608.3	6.8037	0.02683	3215.4	3591.1	6.7172
640	0.03345	3307.5	3709.0	6.9164	0.02843	3296.0	3694.1	6.8326
700	0.03610	3425.2	3858.4	7.0749	0.03075	3415.7	3846.2	6.9939
740	0.03781	3503.7	3957.4	7.1746	0.03225	3495.2	3946.7	7.0952

Taula 20 Taula de les propietats del vapor d'aigua sobreescalfada

Font: Dossier UPC

TABLE A-5 Properties of Compressed Liquid Water

T °C	$v \times 10^3$ m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	$v \times 10^3$ m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$p = 25 \text{ bar} = 2.5 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 223.99^\circ\text{C}$)					$p = 50 \text{ bar} = 5.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 263.99^\circ\text{C}$)			
20	1.0006	83.80	86.30	.2961	.9995	83.65	88.65	.2956
40	1.0067	167.25	169.77	.5715	1.0056	166.95	171.97	.5705
80	1.0280	334.29	336.86	1.0737	1.0268	333.72	338.85	1.0720
100	1.0423	418.24	420.85	1.3050	1.0410	417.52	422.72	1.3030
140	1.0784	587.82	590.52	1.7369	1.0768	586.76	592.15	1.7343
180	1.1261	761.16	763.97	2.1375	1.1240	759.63	765.25	2.1341
200	1.1555	849.9	852.8	2.3294	1.1530	848.1	853.9	2.3255
220	1.1898	940.7	943.7	2.5174	1.1866	938.4	944.4	2.5128
Sat.	1.1973	959.1	962.1	2.5546	1.2859	1147.8	1154.2	2.9202
$p = 75 \text{ bar} = 7.5 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 290.59^\circ\text{C}$)					$p = 100 \text{ bar} = 10.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 311.06^\circ\text{C}$)			
20	.9984	83.50	90.99	.2950	.9972	83.36	93.33	.2945
40	1.0045	166.64	174.18	.5696	1.0034	166.35	176.38	.5686
80	1.0256	333.15	340.84	1.0704	1.0245	332.59	342.83	1.0688
100	1.0397	416.81	424.62	1.3011	1.0385	416.12	426.50	1.2992
140	1.0752	585.72	593.78	1.7317	1.0737	584.68	595.42	1.7292
180	1.1219	758.13	766.55	2.1308	1.1199	756.65	767.84	2.1275
220	1.1835	936.2	945.1	2.5083	1.1805	934.1	945.9	2.5039
260	1.2696	1124.4	1134.0	2.8763	1.2645	1121.1	1133.7	2.8699
Sat.	1.3677	1282.0	1292.2	3.1649	1.4524	1393.0	1407.6	3.3596
$p = 150 \text{ bar} = 15.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 342.24^\circ\text{C}$)					$p = 200 \text{ bar} = 20.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 365.81^\circ\text{C}$)			
20	.9950	83.06	97.99	.2934	.9928	82.77	102.62	.2923
40	1.0013	165.76	180.78	.5666	.9992	165.17	185.16	.5646
80	1.0222	331.48	346.81	1.0656	1.0199	330.40	350.80	1.0624
100	1.0361	414.74	430.28	1.2955	1.0337	413.39	434.06	1.2917
140	1.0707	582.66	598.72	1.7242	1.0678	580.69	602.04	1.7193
180	1.1159	753.76	770.50	2.1210	1.1120	750.95	773.20	2.1147
220	1.1748	929.9	947.5	2.4953	1.1693	925.9	949.3	2.4870
260	1.2550	1114.6	1133.4	2.8576	1.2462	1108.6	1133.5	2.8459
300	1.3770	1316.6	1337.3	3.2260	1.3596	1306.1	1333.3	3.2071
Sat.	1.6581	1585.6	1610.5	3.6848	2.036	1785.6	1826.3	4.0139
$p = 250 \text{ bar} = 25 \text{ MPa}$					$p = 300 \text{ bar} = 30.0 \text{ MPa}$			
20	.9907	82.47	107.24	.2911	.9886	82.17	111.84	.2899
40	.9971	164.60	189.52	.5626	.9951	164.04	193.89	.5607
100	1.0313	412.08	437.85	1.2881	1.0290	410.78	441.66	1.2844
200	1.1344	834.5	862.8	2.2961	1.1302	831.4	865.3	2.2893
300	1.3442	1296.6	1330.2	3.1900	1.3304	1287.9	1327.8	3.1741

Taula 21 Taula de les propietats de l'aigua comprimida

Font: Dossier UPC

Punt 2 Entrada vapor turbina (Vapor sobreescalfat)

Tindrem una entropia a l'entrada de la turbina $S_2 = 7.07 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{C)}$, una temperatura de $T_2 = 530^\circ\text{C}$ i una pressió de $P_2 = 50 \text{ bar}$.

Punt 3 Sortida vapor turbina (Vapor sobreescalfat)

A la sortida de la turbina l'entropia és $S_3 = 8'3304$ (KJ/Kg °C) i la pressió de condensació és de $P_3 = 0'06$ bar per la qual cosa obtenim una temperatura de condensació de $T_3 = 36'16^\circ\text{C}$.

Punt 4 Sortida aigua condensador (Líquid Saturat)

A la sortida del condensador l'aigua té una entropia $S_4 = 0'5188$ (KJ/Kg °C) a una temperatura de $T_4 = 36'16^\circ\text{C}$ i una pressió de $P_4 = 0'05947 = 0'06$ bar

Punt 1' Sortida aigua Bomba impulsora (Líquid subrefredat)

A la sortida de la bomba el líquid presenta una pressió de $P_1' = 50$ bar a una temperatura de $T_1' = 36'16^\circ\text{C}$ i una entropia $S_1' = 0'5188$ (KJ/Kg °C)

Punt 1 Sortida aigua Estalviador (Líquid saturat)

El líquid en aquest punt presenta una temperatura de $T_1 = 263^\circ\text{C}$ i una entropia $S_1 = 2'92$ (KJ/Kg °C) a una pressió de $P_1 = 50$ bar.

Punt 2 ' Sortida Vapor Caldera-Evaporador (Vapor saturat)

El vapor calent de l'evaporador presenta una temperatura de $T_2' = 263^\circ\text{C}$ i una entropia $S_1 = 5'99$ (KJ/Kg °C) a una pressió de $P_2' = 50$ bar. Després el vapor és dirigit al sobre-escalfador de la caldera on el vapor adquireix les qualitats que necessita el vapor a l'entrada de la turbina, que pertany al punt 2.

8.3 Estudi energètic del cicle de Rankie

Punt 2-3: Turbina

A continuació calcularem el cabal màssic de la turbina, amb la següent equació:

$$P_e = q \cdot (h_2 - h_3)$$

P_e = Potència elèctrica (KJ/s)

q = Cabal màssic de vapor (Kg/s)

h = Entalpia específica del vapor a l'entrada i sortida de la turbina (kJ/Kg)

$$1.500 \text{ kJ/s} = q \cdot (3.493'5 \text{ kJ/kg} - 2.567'4 \text{ kJ/kg}) \rightarrow q = 1'62 \text{ kg/s de vapor}$$

Aquest resultat el passem a tones/hora $\rightarrow 5'83 \text{ t/h}$

Per tant, per generar 1'5 MW necessitarem 5'83 T/h de vapor d'aigua.

Punt 1'-2 Caldera (Estalviador, Evaporador i sobreescalfador)

Amb les dades que tenim procedirem a calcular la potència necessària per generar el cabal de vapor que ens ha donat al punt anterior, i ho farem amb la següent fórmula:

$$P = q \cdot (h_1' - h_2)$$

P = Potència necessària per generar el cabal de vapor necessari (KJ/s)

q = Cabal màssic de vapor (Kg/s)

h = Entalpia específica del líquid-vapor a l'entrada i sortida de la caldera (kJ/Kg)

$$P = 1'62 \text{ kg/s} \cdot (3.493'5 \text{ kJ/kg} - 169'5 \text{ kJ/kg}) = 5.384'88 \text{ KJ/s}$$

Amb el poder calorífic inferior (PCI) podrem calcular la quantitat de biomassa necessària per generar el vapor que necessitem.

PRODUCTE	PCS (Kcal/Kg) humitat 0%	PCI a la humitat x (Kcal/kg)			
		x	PCI	X	PCI
Llenya i branques					
Coníferes	4950	20%	3.950	40%	2.550
Frondoses	4.600	20%	3.331	40%	2.340
Serradures i encenalls					
Coníferes	4.880	15%	3.790	35%	2.760
Frondoses autòctones	4.630	15%	3.580	35%	2.600
Frondoses tropicals	4.870	15%	3.780	35%	2.760
Escorça					
Coníferes	5.030	20%	3.650	40%	2.650
Frondoses	4.670	20%	3.370	40%	2.380
Palla de Cereals	4.420	10%	3.630	20%	3.160
	4.420	30%	2.700		
Residu de camp	4.060	10%	3.310	15%	3.090

Tabla 22 PCI de diferents espècies vegetals

Font: Àrea d'aprofitaments Fusters i Biomassa

La fusta extreta del bosc, conté un 50% de humitat, la fusta que s'utilitzarà per cremar en la caldera rondarà una humitat d'un 20%. Per aconseguir aquesta humitat s'utilitzen mètodes d'assecatge.

Segons el tècnic forestal, es poden treure unes 40 tones per hectàrea i per any de fusta, també va comentar que els boscos tarden a regenerar-se uns 15 anys.

El valor de PCI escollit serà el de les coníferes a un 20% d'humitat, és el valor escollit ja que serà la biomassa més utilitzada, però no és un valor exacte perquè no tot el que es cremi serà

d'aquesta espècie a un percentatge d'humitat exacte de 20%. Per tant en realitat podria ser que el valor variés.

Per obtenir 1'5 MW, necessitem que la biomassa amb un 20% d'humitat ens proporcioni 5384'88 KJ/s.

$$5.384'88 \text{ KJ/s} = 5.384'88 \text{ KW}$$

$$5.384'88 \text{ KW} \cdot \frac{860,421 \text{ kcal}}{1 \text{ kwh}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{3950 \text{ kcal}} = 1.172'98 \text{ kg/h}$$

Però, com que la caldera té un rendiment del 90%, s'ha de tornar a calcular el cabal màssic de fusta:

$$\frac{1.172'98 \text{ kg/h}}{0,9} = 1.303'31 \text{ kg/h}$$

Tots els càlculs anteriors són amb un 20% d'humitat, com que la fusta que obtindrem del bosc tindrà un 50% d'humitat, per saber quina quantitat de fusta necessitem calcularem l'aigua que portarà aquesta fusta.

1303'31 kg de fusta amb un 20% d'humitat. D'aquí sabrem quina quantitat de fusta i d'aigua hi ha.

Aigua en la fusta amb un 20% d'humitat:

$$\begin{aligned} 1.303'31 \text{ kg} \cdot 0'2 &= 260'662 \text{ kg d'aigua} \\ 1.303'31 \text{ kg} - 260'662 \text{ kg} &= 1.024'648 \text{ kg de fusta} \end{aligned}$$

Per tant tindrem 1042 kg de fusta.

Però com que la fusta recent tallada té un 50% d'aigua, el seu pes serà més elevat, ara calcularem els kg de fusta a talar.

$$\text{Massa d'aigua: } 1.042 \text{ kg} \cdot 0'5 = 521 \text{ kg d'aigua.}$$

Com que té el 50% d'aigua, l'altre meitat serà fusta sense humitat; que seran 521 kg de fusta.

Per tant el total de fusta serà:

$$1.042 \text{ kg} + 521 \text{ kg} = 1.536 \text{ kg de fusta, o el que es el mateix, 1'536 tones.}$$

La planta funcionarà unes 7.500 hores per any, per tant ara calcularem la fusta necessària per any.

$$\text{Fusta necessària: } 7.500 \text{ h} \cdot 1'536 \text{ T} = 11.520 \text{ T per any.}$$

El municipi de Cercs té 4.740 hectàrees, que d'aquestes només són explotables entre el 45% i 55%, però ens posarem en el cas més desfavorable i farem els càlculs agafant el 45%, segons l'enginyer forestal, que és director del departament forestal i agricultura del Berguedà. Per tant hi ha 2.133 hectàrees per explotar.

Com ja he comentat anteriorment l'enginyer forestal va comentar que dels nostres boscos només es poden extreure 45 tones per hectàrea per any, per tant podrem obtenir les següents tones per any:

$$2.133 \text{ hectàrea/any} \cdot 45 \text{ T/hectàrea} = 95.985 \text{ T/any}$$

Sabent el consum anual de fusta i la massa explotable per any, procedim a calcular durant quants anys podrem explotar els boscos de Cercs.

$$\frac{95.985 \text{ T/any}}{11.520 \text{ T}} = 8'33 \text{ anys}$$

Tenint en compte que els boscos es regeneren cada 15 anys, durant 7 anys la matèria prima hauria de ser exportada.

9. Ubicació geogràfica

He decidit que la planta s'ubicarà al nord del municipi de Cercs, just a sota de l'antiga central tèrmica, així aprofitarem el Consorci de Formació i d'Iniciatives Cercs Berguedà (CFI), ja que actualment només s'aprofiten dos nau de tot el consorci.

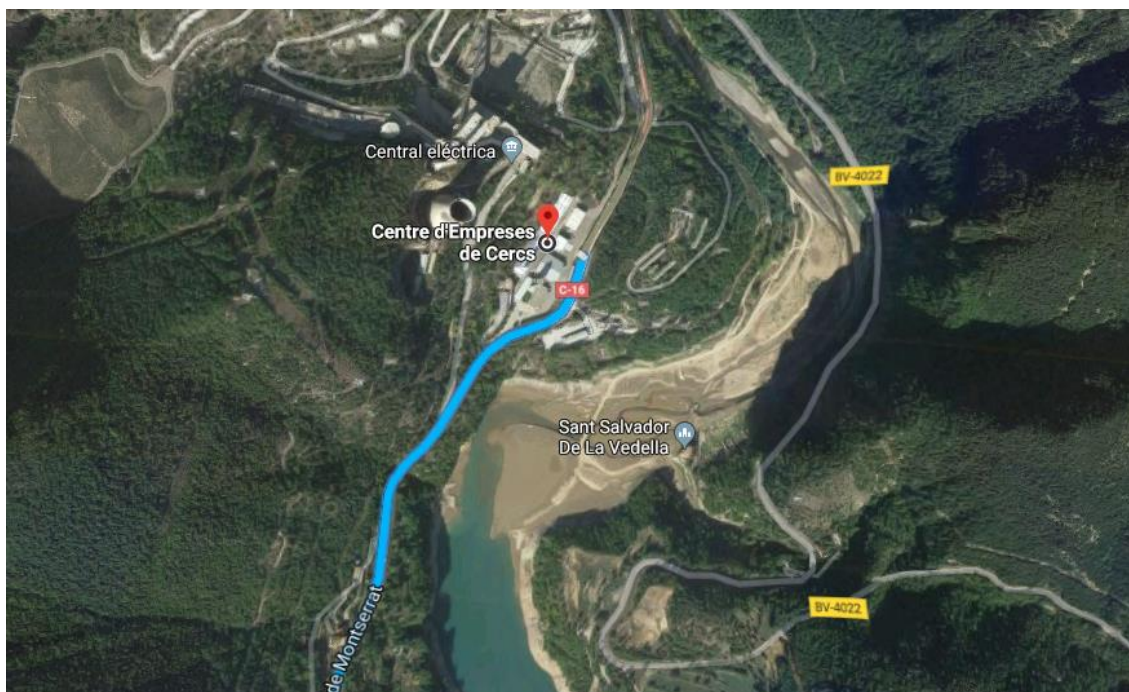


Figura 15 Ubicació de la central

Font: Imatge obtinguda de "Google Maps"

Aquesta ubicació té un bon accés, només s'ha de seguir la C-16 fins a l'alçada de la central tèrmica.

Aprofitarem una de les naus de l'antiga central tèrmica, ja que per mida ens encaixa el nostre projecte, i a més ja hi ha espai per oficines. El magatzem que farem servir serà el mateix on es guardava el carbó, quan la central tèrmica funcionava, que està a uns 80 metres de la nostra nau.



Figura 16 Ubicació de la central i del magatzem

Font: Imatge obtinguda de "Google Maps"

En vermell està encerclat el que serà el nostre magatzem, i en negre la nau on anirà la nostra planta.

10. Càlcul del magatzem

Com es pot veure en la imatge anterior el magatzem està a la intempèrie, el fet que la biomassa no estigui protegida dificultaria el seu assecatge, el que faria que el seu PCI disminuís en èpoques on hi ha més precipitacions. Per això he pensat en construir una nau amb teulada, però sense parets, és a dir, un cobert, així la biomassa estaria protegida de la pluja. Com que l'espai pel magatzem és molt gran, uns 10.800 metres quadrats, i seria molt car fer una nau d'aquest tipus, he pensat que aquesta nau tingués les dimensions per a que s'hi pugui emmagatzemar la biomassa que s'utilitza en una setmana. Seguidament calcularé les dimensions del magatzem.

El primer pas és passar les hores treballades per any, a dies:

$$7500 \text{ hores} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hores}} = 312'5 \text{ dies}$$

Ara calcularé les tones que es necessiten per dia:

$$\frac{11.520 \text{ T}}{312'5 \text{ dia}} = 36'864 \text{ Tones/dia}$$

Seguidament calculo les tones per setmana:

$$36'864 \frac{\text{tones}}{\text{dia}} \cdot 7 \text{ dies} = 258'048 \text{ Tones}$$

La densitat aparent de la fusta és d'uns 470 kg/m³.

Ara calcularé el volum que ocupen les 258'048 tones.

$$\text{Volum} = \frac{258.048 \text{ kg}}{470 \text{ kg/m}^3} = 549'03 \approx 550 \text{ m}^3$$

Les piles de fusta faran 3 metres d'alçada per 6 metres de profunditat, son uns valors aproximats, per tant només falta calcular la longitud del nostre cobert.

$$3 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot \text{long.} = 550 \text{ m}^3 \rightarrow \text{long.} = 30,55 \approx 31 \text{ metres}$$

Cobert per la biomassa

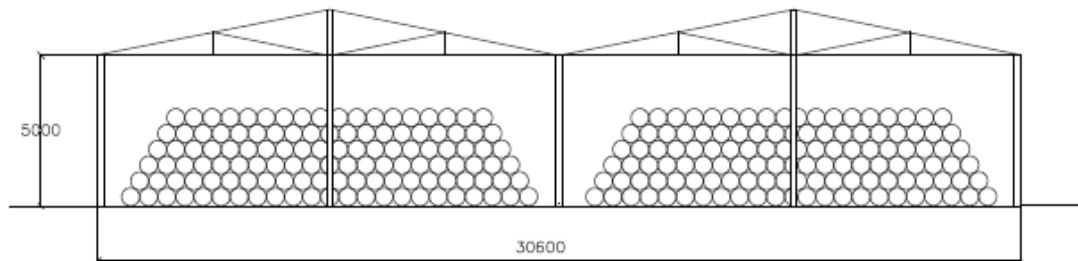


Figura 17 Cobert per la biomassa a construir

Font: Pròpia

També es construirà un magatzem per guardar-hi l'estella, aquest magatzem estarà completament tancat, per així evitar que l'estella agafi humitat. Aquest magatzem tindrà una capacitat per emmagatzemar unes 150 tones d'estella. L'estella s'emmagatzemarà en un monticle amb base circular, ja que l'estella s'introduirà a la nau mitjançant una cinta.

La densitat aparent de l'estella és de 200 kg/m³.

Primer calcularem el volum que ocupa 150 tones d'estella:

$$\text{Volum} = \frac{150.000 \text{ kg}}{200 \text{ kg/m}^3} = 750 \text{ m}^3$$

L'alçada d'aquest monticle serà de 5 metres, per tant el radi serà de:

$$750 \text{ m}^3 = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot 5 \text{ m}}{3} \rightarrow r = 11'96 \approx 12 \text{ metres de radi}$$

Per tan la nostra nau tindrà unes dimensions, deixant uns marges perquè hi pugui entrar i sortir gent, de 26 x 26 x 7 metres.

Magatzem estelles

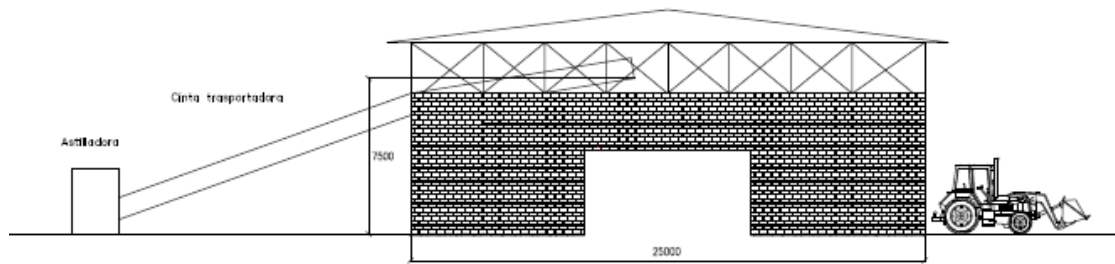


Figura 18 Magatzem d'estella a construir

Font: Pròpia

11. Funcionament de la planta

El primer pretractament que patirà la biomassa serà el seu assecatge. En el nostre cas, com hem vist anteriorment, serà un assecatge natural. Constarà de dos fases, la primera a la intempèrie, on estarà la major part de la biomassa emmagatzemada, i la segona part serà l'assecatge sota un cobert sense parets. S'ha decidit usar aquests mètodes ja que el municipi de Cercs no és especialment humit, i tampoc és una localització amb moltes precipitacions.

El següent pretractament serà l'estellat, que la seva finalitat és la de millorar la combustió. S'utilitzarà una estelladora de fulles. En aquesta màquina la fusta s'introdueix a través d'una tremuja on un mecanisme d'alimentació agafa el material. Aquest material entra a una fulla estelladora rotativa que gira a una velocitat entre 1.000 i 2.000 rpm, i les estelles surten per la descàrrega de la màquina, on, a través d'una cinta transportadora seran dipositades a l'interior del magatzem de les estelles. Aquest tipus de màquines fa estelles d'entre 1 i 5 centímetres de longitud, i d'uns 0'5 a 2 centímetres de gruix.



Figura 19 Estelladora

Font: Cercador d'imatges de Google

El pròxim pas ja és la combustió de la biomassa en la caldera. La caldera és l'equip principal d'una central de combustió. És on es du a terme el procés de transformar matèria en energia. Però també és l'equip que més problemes pot arribar a donar, la que més aturades ocasiona, i la màquina que requereix un manteniment més estricte. Els diversos problemes que tenen les calderes de combustió de biomassa són els següents:

- És una tecnologia emergent, hi ha diversos problemes amb la combustió de biomassa que encara no s'han resolt satisfactòriament.
- L'alt contingut en potassi i clor de la biomassa produeix incrustacions i corrosió a la caldera.
- Dificultat per automatitzar el control de la caldera degut a la variabilitat de les condicions en les quals la biomassa es pot presentar a l'entrada de la caldera.

La combustió no és totalment estable, presenta variacions importants de pressió i temperatura.

11.1 Fases en el procés de combustió

El que passa en una combustió és l'oxidació de la matèria orgànica per formar CO_2 i H_2O amb una gran alliberació d'energia. La biomassa és rica en substàncies volàtils. Els successius passos que passen en la combustió són els següents.

- El primer pas és el total asseccament de la biomassa, pel qual perd tota l'aigua que podia contenir.
- A partir de 150°C comença la reacció d'oxidació de forma lenta i gradual fins als 250°C .
- Per sobre dels 275°C comença un procés exotèrmic en el qual el combustible allibera unes substàncies volàtils, que cremen com un combustible gasós fins als 900°C .
- El sòlid carbonós que queda com a brasa, crema lentament. A l'hora de fer el disseny de la caldera serà necessari conèixer el temps que necessita aquest "carbonet" per fer la combustió completa.

La qualitat d'una combustió es determina per la relació entre CO/CO_2 dels fums. Hi ha una bona combustió quan la proporció CO/CO_2 és menor de 0'07.

Normalment la combustió es realitza amb un excés d'aire, ja que perquè aquesta sigui òptima, s'ha d'assegurar que totes les molècules de combustible es troben amb una molècula d'oxigen. La caldera seleccionada serà aquotubular, això significa que l'aigua circula per l'interior dels tubs que fan un circuit tancat a través del calderí que constitueix la superfície de l'intercanvi de calor de la caldera.

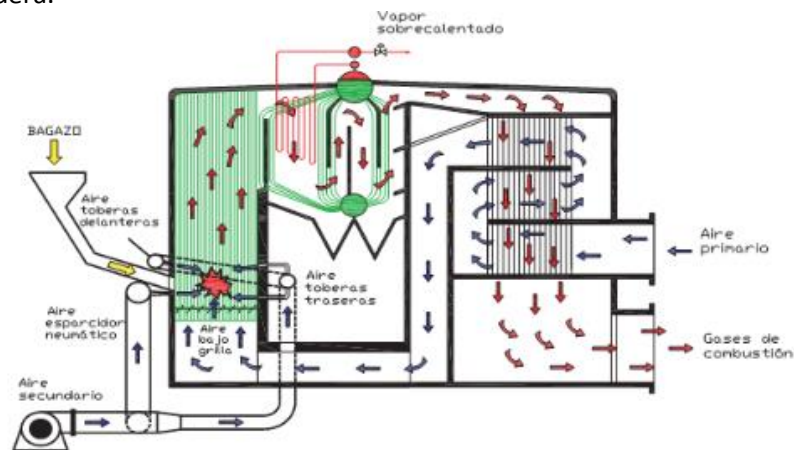


Figura 20 Esquema d'una caldera aquotubular; Font: Cercador d'imatges de Google

Amb l'objectiu de tenir un rendiment més elevat en la caldera, s'hi sol introduir elements com els economitzadors, que escalfen l'aigua d'alimentació i l'aire comburent. Son calderes ideals per generar vapor entre els 25 i 125 bar.

Segons la forma de combustió de la biomassa, la caldera serà d'un tipus o d'altre, en el nostre cas serà de llit fluïditzat. En aquest cas la combustió es desenvolupa dins d'una massa en suspensió de partícules de combustible, cendres i un material inert, que son fluïditzats per una corrent d'aire de combustió ascendent. Aquest tipus de combustió té rendiments més alts, és fàcil d'operar i permet parades i arrancades de la caldera en períodes de temps curts, ja que la inèrcia del forn es reduïda. El seu manteniment és més senzill degut a que no té elements mòbils, té un control fàcil, permet ajustar amb precisió els ratis per admetre diferents combustibles.

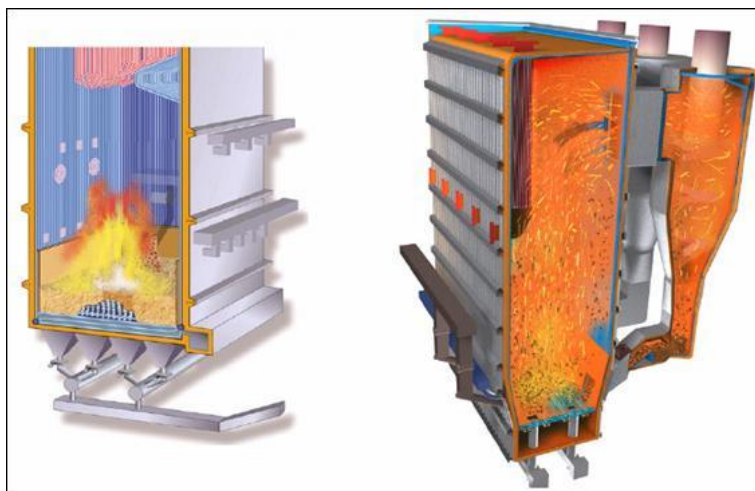


Figura 21 Caldera de llit fluïditzat

Font: Cercador d'imatges de Google

Només entre un 2% o un 3% del llit és de material carbonós, la resta és sorra. Aquest material fa de magatzem de calor en la càmera de combustió, esmorteint l'efecte de les possibles fluctuacions en la generació de vapor provocades per variacions en el PCI del combustible.

Es denomina llit fluïditzat perquè l'aire que entra a la caldera, arriba un moment que la velocitat d'aquest fa que les partícules de l'interior de la caldera queden suspeses en l'aire, originant el llit suspès. Si s'augmenta més la velocitat de l'aire s'origina una expansió del llit, i permetrà el moviment de les partícules en el seu interior, donant a lloc, l'anomenada fluïdització.

El tipus de llit fluït depèn del poder calorífic del combustible i de la mida de la instal·lació. En aquest cas serà de llit circulat, que es caracteritza per una alta velocitat de l'aire de fluïdització, que produeix l'arrossegament de gran quantitats de sòlids del llit, podent reciclar una gran part d'aquests mitjançant un multi cicló, donant lloc a l'anomenat llit fluïditzat circulat. Aquest barreja millor els sòlids, el que implica que es necessita menys sorra, i a més la temperatura a l'interior de la caldera és més constant.

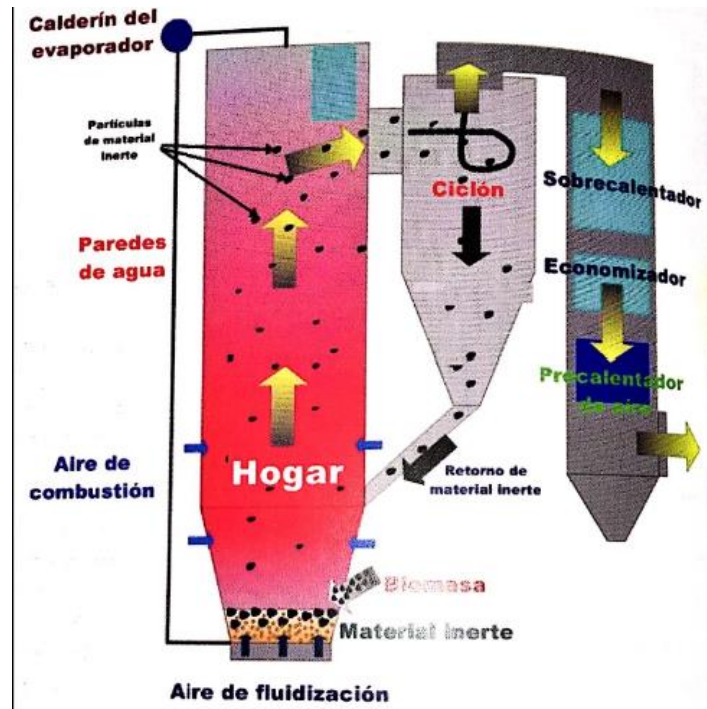


Figura 22 Esquema de funcionament d'una caldera de llit fluiditzat

Font: Centrales termoelèctriques de biomassa (Renovetec)

Just abans de l'entrada de la caldera hi ha un dipòsit regulador. La biomassa se sol introduir en diferents punts, per aconseguir una distribució homogènia de la temperatura. El mecanisme d'introducció de biomassa en la nostra caldera serà mitjançant un cargol sense-fi, que descarrega la biomassa directament dins de la caldera. La velocitat del cargol es pot ajustar per poder variar la quantitat de combustible que entra a la caldera. Serà necessari algun mecanisme d'aïllament, com comportes, per impedir que el foc pugui cremar el material de l'entrada de la caldera.



Figura 23 Cargol sense fi

Font: Cercador d'imatges de Google

Després de deixar l'interior de la caldera, els gasos entren en la zona de convecció de la caldera. El primer feix tubular és el sobreescafador.

Aquest produeix el vapor que s'expandirà posteriorment en la turbina, per això és en aquest punt on ha de tenir la temperatura màxima. Aquests tubs reben tanta calor de convecció com d'una part de calor de radiació provinent de la flama de la caldera.

Després dels feixos tubulars del sobreescalfador, els fums de combustió es troben amb els tubs de l'evaporador. Aquests estan, normalment, connectats a un calderí i a un col·lector. El calderí superior de vapor, en el qual es produeix la separació del vapor existent en l'aigua en circulació.

A la sortida de l'evaporador, els fums tenen encara una alta temperatura, ja que com a mínim es trobaran a la temperatura de saturació de l'aigua del calderí. Tirar uns gasos de més de 100°C a l'atmosfera suposaria una gran pèrdua d'energia que pot ser reaprofitada per pre-escalfar l'aigua.

L'economitzador és un pre-escalfador de l'aigua situat darrere dels feixos tubular de l'evaporador, i la seva funció és aprofitar la calor residual que queda en els fums de combustió, per escalfar l'aigua fins a la temperatura de saturació.

Com ja s'ha comentat anteriorment, abans de llançar els fums a l'atmosfera s'ha d'utilitzar el sistema depurador adequat. Es tracta de captar les cendres i les restes no cremades arrossegades per els flux dels fums. Per depurar els fums farem servir els anomenats electrofiltres, és recomanable posar-ne dos o més d'aquests en sèrie per obtenir un rendiment més elevat.

Un electrofiltre és un dispositiu controlador de partícules que utilitza forces elèctriques per portar les partícules arrossegades pels fums a unes plaques col·lectores. Les partícules arrossegades reben una càrrega elèctrica quan passen a través d'una corona per on flueixen ions gasosos.



Figura 24 Electrofiltre

Font: Cercador d'imatges de Google

Els elèctrodes situats en el centre de la corrent mantenen una alta tensió, generant un camp elèctric que força a les partícules cap a les parets del col·lector, la tensió necessària varia entre 20 i 100 kV.

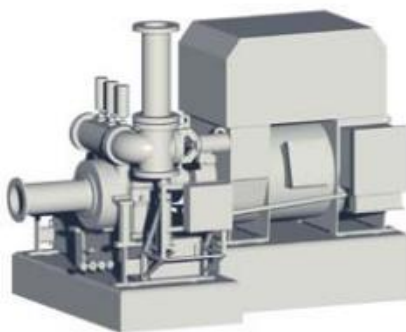
En un electrofiltre els col·lectors son rentats de manera intermitent o contínua mitjançant ruixats d'aigua. Una part d'aquest fluid pot ser reciclada amb la finalitat de reduir la quantitat total d'aigua necessària.

Els principals components dels electrofiltres son els següents:

- Elèctrodes de descàrrega
- Elèctrodes col·lectors
- Dispositius de neteja dels col·lectors
- Caixa de l'electrofiltre

11.2 La turbina de vapor

La turbina escollida serà la següent:



SST-060

Hasta 6 MW

La SST-060 se caracteriza por una construcción robusta y por un funcionamiento muy seguro incluso bajo las condiciones más duras. Es apropiada también para el funcionamiento con vapor saturado. Como turbina de condensación o contrapresión en combinación con diversos módulos vale para muchos ámbitos de aplicación.

Datos técnicos

- Potencia: hasta 6 MW
- Presión del vapor vivo: hasta 131 bar (a)
- Temperatura del vapor vivo: vapor saturado seco hasta 530 °C
- Velocidad: según la máquina accionada
- Presión del vapor de salida: contrapresión hasta 29 bar (a) o condensación

Dimensiones típicas

Longitud: 1,5 m*

Anchura: 2,5 m*

Altura: 2,5 m*

*Solo turbina.

Principales características

- Ejecución como turbina de condensación o contrapresión
- Ejecución en paquete
- Sistema de aceite integrado en el bastidor de base
- Regulación del grupo de toberas disponible
- Arranque rápido sin precalentamiento
- Adaptación específica al cliente
- Corresponde a las especificaciones de API 611 / 612*
- Ejecución ATEX disponible
- Apropriada para ORC (Organic Rankine Cycle)
- Apropriada para la expansión de gas natural

Figura 25 Característiques de la turbina SST-060

Font: Catàleg de turbines pre-dissenyades de SIEMENS

La turbina d'una central termoelèctrica de biomassa és un equip robust i senzill, es coneix pràcticament tot d'aquesta màquina, de fet produeix el 70%, aproximadament, de l'energia elèctrica generada en el món.

És l'encarregada de transformar l'energia potencial, en forma de pressió de vapor, en energia cinètica de rotació. S'introdueix el vapor a una temperatura i pressió determinada i la expansió d'aquest vapor en l'interior de la carcassa fa girar els àleps units a un eix rotor, a la sortida de la turbina, el vapor té una temperatura i pressió inferior.

La majoria de l'energia perduda per el vapor entre l'entrada i la sortida, és utilitzada per moure el rotor, i una petita part es perd en forma de fricció del vapor amb les parts no mòbils, fricció de l'eix amb els coixinets, pèrdues de calor per la carcassa en forma de radiació, conducció o convecció, i fugues de vapor, internes o externes.

La turbina també necessita alguns equips auxiliars molt senzills, com un sistema de lubricació, de refrigeració de l'oli de lubricació, un sistema de regulació i control, conductes d'entrada i sortida de vapor, una cimentació i suports on aguantar-se.

A continuació explicaré els components que formen una turbina de vapor.

- Sistema d'admissió:

Consta d'una vàlvula de tancament ràpid, el grup de vàlvula de control i toveres d'admissió. La vàlvula de tancament ràpid és un element de seguretat de la turbina, que assegura el tancament complet i molt ràpid de l'entrada de vapor en cas d'una parada d'emergència. Les vàlvules de control son uns dels elements més importants de la turbina, regula el cabal de l'entrada. És una vàlvula pilotada hidràulicament amb l'ajuda d'un grup de pressió d'oli.

- El rotor:

El rotor d'una turbina normalment és d'acer fos amb certes quantitats de níquel o crom, per dotar-lo de tenacitat, és de diàmetre pràcticament uniforme. Els àleps mòbils estan units al rotor de manera que es puguin treure amb facilitat. Solen tenir un recobriment resistent a la corrosió.



Figura 26 Rotor

Font: Centrales termoelèctriques de biomassa (Renovetec)

- La carcassa:

La carcassa és l'element que aconseguix un tancament hermètic, evitant fugues de vapor a l'exterior. La carcassa es divideix normalment en dos meitats: la meitat inferior, unida a la bancada; i la meitat superior, que es desmunta quan es vol accedir al rotor.

Les carcasses són de ferro, acer al carboni, o aliatges d'acer, depenent de la temperatura de vapor. Òbviament les parts de la carcassa de la part alta de pressió són de materials més resistents que en la part de l'escapament.



Figura 27 Carcassa

Font: Cercador d'imatges de Google

- Àleps:

Els àleps fixos i mòbils es col·loquen en posició adequada en ranures al voltant del rotor i la carcassa. Els àleps es poden fixar en la seva posició amb un rebló. Els extrems dels àleps es fixen en un anell on s'amarren entre si amb filferros o barres en un o dos llocs per donar-hi rigidesa.

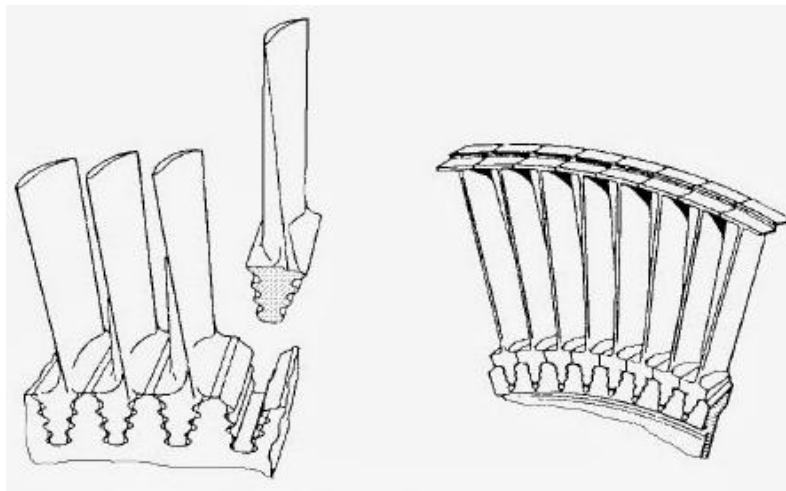


Figura 28 Esquema dels àleps

Font: Cercador d'imatges de Google

- Coixinets de recolzament:

Sobre ells gira el rotor, solen estar constituïts per una estructura rígida i un recobriment d'un material tou, denominat material antifricció. En realitat l'eix gira sobre una capa d'oli de lubricació. És un element de desgast, que ha de ser substituït periòdicament.

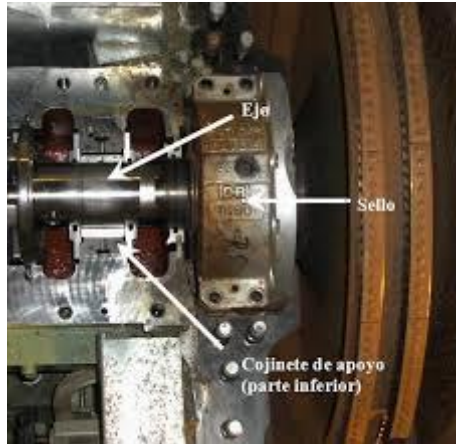


Figura 29 Coixinet de recolzament

Font: Cercador d'imatges de Google

- Coixinet axial:

És el que impedeix el desplaçament del rotor en la direcció de l'eix. En cas de no existir, l'empenta axial faria que les parts fixes i mòbils de la turbina es toquessin, i acabarien patint danys.

Aquest coixinet està recobert per una capa de material antifricció, amb un coeficient de fricció molt baix, el que suposa que la fricció entre el disc del coixinet i el metall antifricció és mínim.

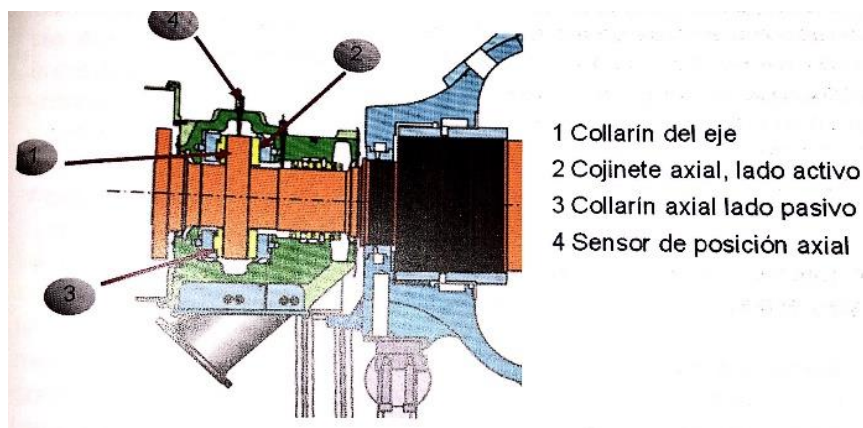


Figura 30 Esquema d'un coixinet axial

Font: Centrales termoelèctriques de biomassa (Renovetec)

- Sistema de lubricació:

Proporciona l'oli que lubrica els coixinets. Per assegurar la circulació de l'oli el sistema sol tenir tres bombes:

- 1) Bomba mecànica principal. Està acoblada a l'eix de la turbina, de forma que sempre que la turbina gira, també ho fa la bomba, s'assegura així la pressió correcta de bombeig.
 - 2) Bomba auxiliar. S'utilitza exclusivament en les arrencades i parades, serveix per assegurar la pressió correcta de l'oli fins que la bomba mecànica pugui realitzar-ho sola.
 - 3) Bomba d'emergència. Si es produeix una tallada de tensió, la turbina de vapor es dispara, durant la parada, hi hauria un moment que es quedaria sense lubricació, ja que la bomba auxiliar no tindria tensió, i aquí és on entraria en funcionament la bomba d'emergència que funciona amb corrent contínua provinent d'unes bateries.
- Virador.

El sistema virador és un motor elèctric o hidràulic que fa girar lentament la turbina quan aquesta està parada, per evitar que el rotor es deformi pel seu propi pes.

11.3 El generador

És el responsable de convertir l'energia mecànica de la turbina en energia elèctrica.



Figura 31 Generador elèctric

Font: Centrales termoelectriques de biomassa (Renovetec)

12. Balanç de matèria

La composició dels biocombustibles és complexa; els principals components són sis elements: Carboni, Hidrogen, Oxigen, Nitrogen, Sofre, Clor.

També hi ha uns elements més "secundaris" que són: Silici, Alumini, Calci, Potassi, Magnesi, Sodi, Fòsfor i Ferro.

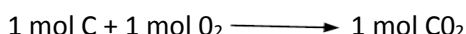
El principal component de la biomassa és el carboni, amb una proporció del 58'2% en pes de matèria seca segons el contingut de cendres. El segon element més abundant és l'oxigen, amb un 35% en pes de matèria seca de biocombustible. El tercer component principal és l'hidrogen, que comprèn normalment un 6% en pes de la matèria seca. Altres elements com el nitrogen, el

sofre o el clor solen ser menys de l'1% en pes de la matèria seca, però poden excedir aquest valor en diferents biocombustibles. Per tant el càlcul d'una reacció de combustió d'aquest tipus és molt complexa, i varia depenent del tipus de biomassa a cremar. Per això simplifiquem les reaccions i els seus càlculs, per tenir una idea aproximada dels gasos que s'alliberen en la seva combustió.

12.1 Càlcul de l'Aire primari

L'aire primari és necessari per la combustió dels sòlids al llit de combustió. La següent reacció ocorre quan el carbó es crema al llit de combustió:

Reacció 1:



L'aire necessari per 1.000 grams de combustible és:

$$582 \text{ g C} \cdot \frac{32 \text{ g O}_2}{12 \text{ g C}} = 1.552 \text{ g de O}_2$$

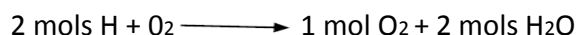
Sabent que la composició de l'aire és 23,3% d'oxigen i 79,9% de nitrogen, la quantitat estequiomètrica de l'aire que es necessita és:

$$1.552 \text{ g O}_2 \cdot \frac{100 \text{ g Aire}}{23,3 \text{ g O}_2} = 6.660'94 \text{ d'aire}$$

12.2 Càlcul de l'aire secundari

En la combustió dels volàtils, estan implicades dues reaccions:

Reacció 2: combustió de la fracció d'hidrogen de la biomassa:



Per la combustió de 1.000 grams de biomassa necessitem:

$$60 \text{ g H}_2 \cdot \frac{32 \text{ g O}_2}{4 \text{ g H}_2} = 480 \text{ g O}_2$$

Se suposa que tot l'oxigen present en la biomassa s'utilitza per cremar l'hidrogen de la biomassa, però, fa falta més oxigen per cremar tot aquest hidrogen. Per tant, s'haurà de subministrar amb l'aire secundari.

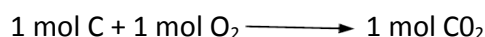
Com que l'oxigen amb biomassa és aproximadament 350 grams, i ens fan falta 480 grams, la resta l'haurem de subministrar amb l'aire secundari.

$$480 \text{ g O}_2 - 350 \text{ g O}_2 = 130 \text{ g O}_2$$

$$130 \text{ g O}_2 \cdot \frac{100 \text{ g aire}}{23,3 \text{ g O}_2} = 557'93 \text{ g d'aire}$$

Per tant l'aire secundari que subministrarem en excés és de 577'93 g d'aire.

Reacció 3: combustió de la fracció de carboni volàtil en la biomassa:

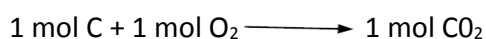
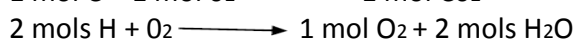
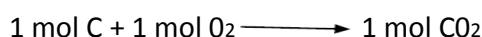


A partir d'aquesta reacció, podrem calcular la quantitat d'aire necessari per la combustió del carboni en els volàtils.

12.3 Productes de combustió

Les dades de la secció anterior ens aporten suficient informació per determinar la quantitat de productes de combustió, que es generen per la combustió de 1000g de biomassa. Els productes són: CO₂, N₂, O₂ i H₂O.

Recordem les tres reaccions:



Amb la reacció 1:

$$\text{Carboni: } 582 \text{ g C} \cdot \frac{44 \text{ g CO}_2}{12 \text{ g C}} = 2.134 \text{ g de CO}_2$$

Nitrogen: calcularem el nitrogen que entra amb l'aire més el nitrogen que entra amb la biomassa.

$$6.660,94 \text{ g aire} + 557'93 \text{ g aire} = 7.218,87 \text{ g d'aire}$$

Però com que hi ha un 10% d'excés d'aire:

$$7.218,87 \text{ g} \cdot 1,1 = 7.940'75 \text{ g d'aire}$$

D'aquí traurem la quantitat de nitrogen de la reacció.

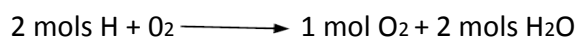
$$7.940'75 \text{ g aire} \cdot \frac{76,7 \text{ g N}_2}{100 \text{ g aire}} = 6090'55 \text{ g de N}_2$$

O₂: és l'oxigen que introduïm amb l'excés d'aire.

$$7.940'75 \text{ g aire} - 6.660'94 \text{ g} = 1.279'81 \text{ g d'aire}$$

Aquests són els que sortiran per la xemeneia.

A continuació farem servir la reacció 2 per calcular els grams d'aigua.



$$60 \text{ g H}_2 \cdot \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{2 \text{ g H}_2} = 540 \text{ g H}_2\text{O}$$

Aquests 540 g H₂O provenen de la biomassa, però calcularem els grams d'aigua que porta la biomassa. Tal i com hem dit anteriorment la biomassa, un cop assecada, porta un 20% d'humitat.

$$1.000\text{g biomassa} \cdot 0,2 = 200\text{g H}_2\text{O}$$

$$200\text{g H}_2\text{O} + 540\text{g H}_2\text{O} = 740\text{g H}_2\text{O}$$

A partir del càlcul fet anteriorment, els grams de CO₂ que s'expulsa, i amb les tones de biomassa que cremem en una any, sabrem el CO₂ que alliberaria la nostra central. I, ho compararem amb el CO₂ que s'emet actualment al municipi.

$$11.520.000 \text{ kg Biomassa} \cdot 2'134 \text{ kg CO}_2 = 24.583.680 \text{ kg de CO}_2$$

Tenint en compte que Cercs, sense la central en funcionament, emet 4.050 tones de CO₂, les emissions augmentarien en un 607%. Però com que és un CO₂ que s'extreu de biomassa de l'entorn, tenint en compte que els boscos es regeneren, aquest CO₂ serà reabsorbit, per tan no tindria molta afectació en la salut respiratòria de la gent que resideix prop de la central.

13. Cost econòmic

El cost de construcció d'una planta de biomassa és molt variable, depèn de la tecnologia emprada, i sobretot de la potència instal·lada. Fent una aproximació, i sense entrar en detalls dels equips que inclou i de la configuració exacte, es pot estimar que una central termoelèctrica de biomassa, pot tenir un cost d'uns 2 milions d'euros per MW instal·lat, considerant que es construeix en Europa. Aquesta aproximació és extreta d'un projecte d'instal·lació d'una planta de biomassa de Mèrida.

En aquest pressupost per MW instal·lat, inclou:

- Enginyeria del projecte
- Permisos i llicències de construcció
- El subministrament de tots els equips
- El muntatge i la posada en marxa

No inclou els següents apartats:

- El cost de la línia elèctrica des de la planta fins a la subestació de interconnexió amb la xarxa elèctrica
- Els costos relacionats amb la presa de l'aigua de refrigeració i serveis
- El cost del terreny on estarà situada la central
- Altres despeses o obres no indicades

Basant-nos en l'aproximació anterior, i en que el cost de la línia elèctrica no serà molt elevat perquè ja està instal·lat, ja que la nova central s'emplaça just al costat de l'antiga, el preu de la construcció serà aproximadament:

$$2 \text{ M€} \cdot 1'5 \text{ MW} = 3 \text{ M€}$$

A aquest preu se li ha de sumar el cost que tindria la construcció dels dos magatzems, segons la constructora de naus industrials PATEC, el m² de construcció d'estructura metàl·lica és de 42 €/m², aquesta constructora seria l'encarregada de construir el cobert i el magatzem d'estelles.

El preu del cobert serà:

$$\text{Cobert: } 186 \text{ m}^2 \cdot 42 \text{ €/m}^2 = 7.812 \text{ €}$$

El preu del magatzem d'estella serà:

$$\text{Parets: } (26 \text{ m} \cdot 7 \text{ m} \cdot 4 \text{ parets}) \cdot 42 \text{ €/m}^2 = 30.576 \text{ €}$$

$$\text{Sostre: } (26 \text{ m} \cdot 26 \text{ m}) \cdot 42 \text{ €} = 28.392 \text{ €}$$

$$\text{Total: } 30.576 \text{ €} + 28.392 \text{ €} = 58.968 \text{ €}$$

Per tant el cost total de les instal·lacions serà:

$$3.000 \cdot 7.812 \text{ €} + 58.968 \text{ €} = \mathbf{3.066.780 \text{ €}}$$

13.1 Cost del funcionament

El cost de funcionament inclou:

- Consum d'energia
- Cost d'operació i manteniment
- Sous bruts

Consum d'energia

En el nostre cas el consum de biomassa humida és de 1.536 Kg/h de fusta al 50% d'humitat i pretenem funcionar 7.500 hores a l'any, segons la Mancomunitat de municipis Berguedans per la biomassa, el kW/h de calor produït pel centre de consum de biomassa forestal al polígon industrial es ven a 0,015€/kW.

Com que nosaltres produïrem 5.384'88 kW/h:

$$5.384'88 \text{ kW/h} \cdot 0,015 \text{ €/kW} = 80'77 \text{ €/h}$$

Sabent que una hora tindrà un cost de 80'77 € i que la nostra central treballarà 7.500 hores a l'any:

$$80,77 \text{ €/h} \cdot 7.500 \text{ h/any} = 605.775 \text{ €/any de combustible}$$

El combustible que utilitzarem ens el subministrarà l'empresa "Mancomunitat de municipis Berguedans per la biomassa".

13.2 Cost d'operació i manteniment

El cost d'operació i manteniment inclou:

- Manteniment del moto generador
- Manteniment preventiu de les instal·lacions
- Manteniment correctiu

Manteniment del moto generador → 8.500 €/any

Manteniment preventiu de les instal·lacions → 3.500 €/any

Manteniment correctiu → 20.500 €/any

$$\text{Total manteniment: } 32.500 \text{ €}$$

Del manteniment se'n encarregarà una empresa externa.

13.3 Sous bruts

A la central hi treballaran cinc persones. Aquests cinc treballadors es repartiran els càrrecs en, un cap de planta, i quatre operaris. Els seus sous bruts seran:

Cap de planta → 29.000 €/any

Quatre operaris → 92.000 €/any

Total sous: 121.000 €

13.4 Cost total i retorn de la inversió

Abans de calcular el cost anual total de la inversió, i sabent que la vida útil d'una central tèrmica és d'uns 20 anys, calcularem el cost anual de les instal·lacions.

$$\frac{3.066.780 \text{ €}}{20 \text{ anys}} = 153.339 \text{ €/any}$$

El cost anual total de la central serà la suma de:

Cost anual de la instal·lació + Consum d'energia + Cost d'operació i manteniment + Sous bruts

$$153.339 \frac{\text{€}}{\text{any}} + 605.775 \frac{\text{€}}{\text{any}} + 32.500 \frac{\text{€}}{\text{any}} + 121.000 \frac{\text{€}}{\text{any}} = 912.614 \text{ €/any}$$

Tenint el cost de la inversió anual, ara calcularem el retorn de la inversió. Segons el Reial Decret 661/2007, del 25 de maig, per el qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial, la retribució per a central que utilitzen biomassa com combustible, és de 11'8294 c€/kWh per als primers 15 anys, i de 8'0660 c€/kWh en endavant. Si multipliquem el nombre d'hores de funcionament per la potència obtindrem:

Per als 15 primers anys:

$$\text{Passem de c€/kWh a €/kWh: } 11'8294 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ €}}{100 \text{ c€}} = 0'118294 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Recaptació anual: } 0'118294 \text{ €/kWh} \cdot 7.500 \text{ h} \cdot 1.500 \text{ kW} = 1.330.807'5 \text{ € anuals}$$

Després dels 15 primers anys:

$$\text{Passem de c€/kWh a €/kWh: } 8'0660 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{1 \text{ €}}{100 \text{ c€}} = 0'08066 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Recaptació anual: } 0'08066 \text{ €/kWh} \cdot 7.500 \text{ h} \cdot 1.500 \text{ kW} = 907.425 \text{ € anuals}$$

En el següent pas calcularem el VAN, per veure a quin any serà rentable.

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t = el flux de caixa de cada període t

I_0 = valor de la quantitat inicial a invertir

n = nombre de períodes considerats

k = tipus d'interès

Suposant un 1,5% d'interès:

Com podem observar a la taula inferior, la central comença a generar benefici a partir del setè any.

Any	VAN
3	-1402362,815
5	-333342,962
7	704313,718

Tabla 23 VAN

Font: Pròpia

14. Conclusions

Després de realitzar tota la investigació sobre la viabilitat de que el municipi de Cercs sigui autosuficient energèticament puc arribar a les següents conclusions.

En un principi si que el municipi podria ser autosuficient energèticament, però només durant uns set anys i mig, ja que els boscos tarden més en regenerar-se. Tenint en compte el poc desenvolupament tecnològic d'algunes peces clau d'una central de biomassa, i que gran part del bosc no és actualment explotable, podria ser que en un futur arribés ha haver un equilibri, entre la velocitat en que s'explota el bosc i la seva regeneració.

Però avui en dia no seria viable l'autosuficiència total, per això s'hauria de dur a terme algunes accions per reduir el consum elèctric del municipi, com per exemple, que l'enllumenat i els edificis públics extreguin l'energia elèctrica necessària d'alguna font renovable com l'energia solar fotovoltaica.

Econòmicament la construcció i posada en marxa d'una central d'aquest tipus, és viable, i ja en el setè any ens donaria un benefici econòmic, el qual es podria invertir per buscar maneres d'economitzar més el cicle tèrmic de la central.

15. Bibliografia

Llibres, projectes, articles i pàgines web:

- Llibre “Centrales termoeléctricas de Biomasa”
Santiago García Garrido (2012) CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE BIOMASA.
Editorial RENOVETEC. ISBN: 9788461615575
- Projecte “Diseño de una central de biomasa de 1MW ampliable a 2MW” de l'autor
Gerard Aldomà Peña (Universitat Virgili i Rovira) Any 2009
- Article “Revisió del pla d'ordenació urbanística municipal”. Autors: Jordi Artigas i
Masdeu i Meritxell Casajús i Garcia. Any 2010.
- Pàgina web de l'Ajuntament de la vila de Cercs
 - o <http://www.cercs.cat/>
- Pàgina web de recerca de referències i descripcions
 - o <https://ca.wikipedia.org/wiki/Cercs>
- Página web del ministerio de industria, comercio y turismo
 - o <http://www.mincotur.gob.es/energia/electricidad/TramitacionInstalaciones/Paginas/AutorizacionInstalaciones.aspx>
- Página web sobre plantas de biomasa
 - o <http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>
- Página web de l'Institut Català de l'Energia
 - o <http://icaen.gencat.cat/ca/energia/renovables/biomassa/BiomassaCAT/>
- Página web de la biomassa en Espanya
 - o <http://www.energiza.org/eolica/20-biomasa/938-biomasa-en-espa%C3%B1a>
- Catàleg de turbines pre-dissenyades de SIEMENS
 - o https://www.energy.siemens.com/mx/pool/hq/power-generation/steam-turbines/downloads/E50001-G410-A100-X-7800_Pre-Designed%20Steam%20Turbines_SP.pdf
- Resum meteorològic de Catalunya
 - o http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2018/06/08090412/EMAresums_V22016.pdf

